

# 第1章

# 人工神经网络和 模糊信号处理概述

- 1.1 神经网络
- 1.2 模糊信号处理
- 1.3 前景展望





### 1.1.3 神经网络

神经网络是一种模仿人脑神经系统的信息处理系统。它由大量的简单单元（神经元）组成，这些单元通过相互连接形成网络。神经网络可以学习从输入数据中提取特征，并用于分类、回归等任务。

神经网络的结构通常分为输入层、隐藏层和输出层。输入层接收外部数据，隐藏层进行复杂的非线性变换，输出层产生最终结果。神经网络的训练过程包括前向传播和反向传播，通过调整连接权重来最小化损失函数。

表 1.1 使用与神经网络相同原理的系统

* 回声消除器
* 自适应预测器
* 未知系统的模型化
* 天线的旁瓣消除器
* 自适应噪声消除器
* 自适应线频谱增强器

神经网络在语音处理领域有着广泛的应用，如语音识别、语音合成、噪声消除等。通过深度神经网络，系统可以学习到语音信号中的复杂模式，从而提高处理性能。

在实际应用中，神经网络的训练需要大量的数据和计算资源。随着硬件技术的发展，神经网络的训练效率得到了显著提高，使其在更多场景中得以应用。

1) 神经网络的基本原理



神经网络模型，其结构通常由输入层、隐藏层和输出层组成。每个节点代表一个神经元，通过权重和偏置进行连接。这种模型在模式识别、自然语言处理等领域有着广泛的应用。

### 1.1.4 感知器模型

感知器模型（perceptron）是人工神经网络（AI; Artificial Intelligence）中最基本的模型之一。它由M. Minsky在20世纪50年代提出，主要用于解决二分类问题。该模型通过调整权重和偏置，使得输入数据能够被正确地分类。

20世纪80年代，反向传播算法（back propagation）的提出，使得神经网络能够处理更复杂的任务。该算法通过计算误差梯度，反向传播到网络的每一层，从而调整权重和偏置，提高模型的分类性能。这一突破为深度神经网络的发展奠定了基础。

### 1.1.5 神经网络结构

神经网络的结构通常分为输入层、隐藏层和输出层。每个节点代表一个神经元，通过权重和偏置进行连接。图1.4展示了人脑的解剖结构，帮助我们理解神经网络的生物学基础。

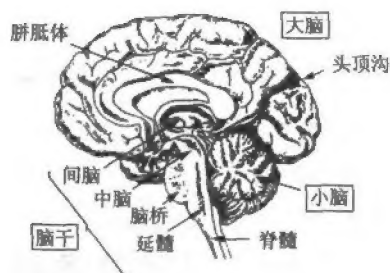
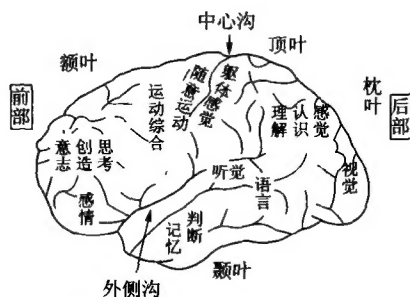


图 1.4 人脑结构

[illegible]

□ □ 1.5 □  
 □ □ □ 6 □  
 □  
 □ 3  
 □

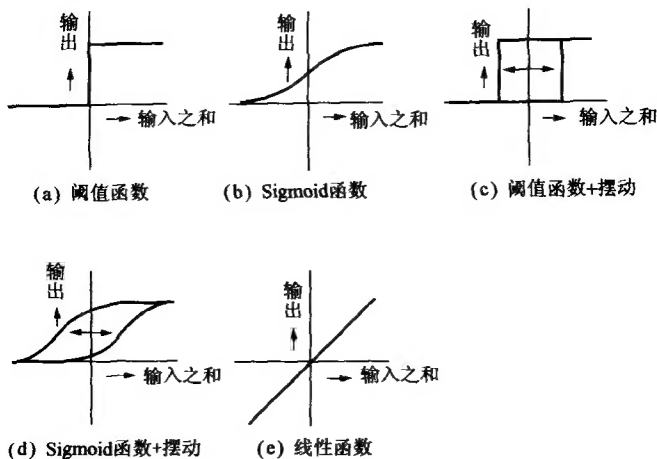
[illegible]

400g 1200~  
1500g

**1.1.6**    □ □ □ □ □ □ □ □

□  
 □  
 □

1.6 □



## 1.6

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

1.6(a) McCulloch-Pitts  
 1.6(b) (sigmoid function)  
 1.6(c) (d)  
 1.6(e)

**1.1.7** □ □ □ □ □ □

☐ ☐

☐ ☐

☐ ☐

☒ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

□ □



[illegible][illegible][illegible]

**注 3.1**

[illegible]

网络名称	应 用	注 意 点	特 征
<ul style="list-style-type: none"> <li>霍普非耳德网络</li> <li>辅助元</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>联想存储模型</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>记忆容量比较小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>面向 VLSI</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>双向联想存储 (BAM)</li> <li>多向联想存储 (MAM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>联想存储模型</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>记忆容量比较小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>可组合诸多存储项目</li> <li>面向 VLSI</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>应用弛豫法的 BAM 和 MAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>联想存储</li> <li>情景存储</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要学习</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>记忆容量比较大</li> <li>可组合诸多存储项目</li> <li>面向 VLSI</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>玻尔兹曼机</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>组合优化问题</li> <li>模式识别</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>学习时间非常长</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>面向 VLSI</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>平均场理论学习机 (简化的玻尔兹曼机)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>组合优化问题</li> <li>模式识别</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>学习时间比较长</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>面向 VLSI</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>反向传播</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>模式识别</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要很多输入输出数据</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>代表性神经网络</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>RBF 网络 (径向基底函数网络)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>模式识别</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要很多输入输出数据</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>学习速度快</li> <li>对深层次问题不适用</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>自组织化映射</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>输入数据的聚类</li> <li>特征提取</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要很多学习</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有生理学依据</li> </ul>

☐ ☐

☐ ☐ ☐ ☐

(2) □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
 □□□□□□□□

**(4)** □  
□ □ □ □ □ □

[illegible][illegible]

1.3

1) VLSI

模式识别	控制问题	预测问题	问题解决
声音识别	工厂控制	经济预测	组合优化
文字识别	机器人控制	故障预测	语言处理
图像识别		自然现象预测	

□ □

[illegible]

□  
 □  
 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

- [illegible]

□ □ □ □

- [illegible]

□ □

(fuzzy sets) (CFS: Conceptual Fuzzy Sets)  
 1.2.1

### 1.2.1

(L. A. Zadeh) 1965 0 1 0 1  
 “ ” “ ” [10]

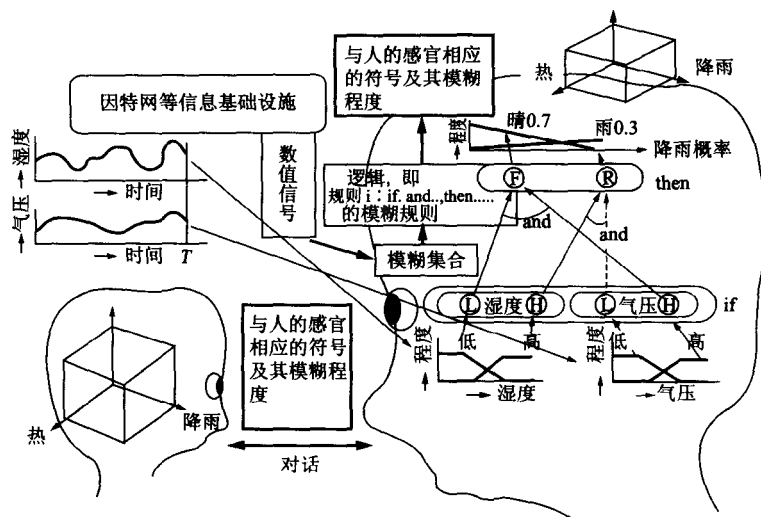
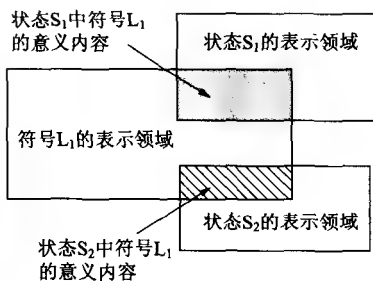


图 1.7 模糊推理过程示意图

1.7 (L) (H)

□ □



1.9

13





随着人工智能技术的不断发展，其在各个领域的应用也越来越广泛。特别是在智能制造、智慧医疗、智慧城市等领域，人工智能技术的应用已经取得了显著的成效。未来，随着人工智能技术的进一步突破，其在各个领域的应用将更加广泛，为人类社会的发展做出更大的贡献。

在智能制造领域，人工智能技术的应用可以实现生产过程的自动化和智能化，提高生产效率和产品质量。在智慧医疗领域，人工智能技术的应用可以实现疾病的早期诊断和精准治疗，提高医疗水平。在智慧城市领域，人工智能技术的应用可以实现城市管理的智能化和精细化，提高城市治理水平。

## 1.3 前景展望

随着人工智能技术的不断发展，其在各个领域的应用也越来越广泛。特别是在智能制造、智慧医疗、智慧城市等领域，人工智能技术的应用已经取得了显著的成效。未来，随着人工智能技术的进一步突破，其在各个领域的应用将更加广泛，为人类社会的发展做出更大的贡献。

在智能制造领域，人工智能技术的应用可以实现生产过程的自动化和智能化，提高生产效率和产品质量。在智慧医疗领域，人工智能技术的应用可以实现疾病的早期诊断和精准治疗，提高医疗水平。在智慧城市领域，人工智能技术的应用可以实现城市管理的智能化和精细化，提高城市治理水平。

随着人工智能技术的不断发展，其在各个领域的应用也越来越广泛。特别是在智能制造、智慧医疗、智慧城市等领域，人工智能技术的应用已经取得了显著的成效。未来，随着人工智能技术的进一步突破，其在各个领域的应用将更加广泛，为人类社会的发展做出更大的贡献。

在智能制造领域，人工智能技术的应用可以实现生产过程的自动化和智能化，提高生产效率和产品质量。在智慧医疗领域，人工智能技术的应用可以实现疾病的早期诊断和精准治疗，提高医疗水平。在智慧城市领域，人工智能技术的应用可以实现城市管理的智能化和精细化，提高城市治理水平。

随着人工智能技术的不断发展，其在各个领域的应用也越来越广泛。特别是在智能制造、智慧医疗、智慧城市等领域，人工智能技术的应用已经取得了显著的成效。未来，随着人工智能技术的进一步突破，其在各个领域的应用将更加广泛，为人类社会的发展做出更大的贡献。

1) 随着人工智能技术的不断发展，其在各个领域的应用也越来越广泛。







# 层次型神经网络 的信号处理

- 2.1 层次型神经网络概要
- 2.2 反向传播
- 2.3 径向基函数网络
- 2.4 自组织化映射
- 2.5 学习向量量化

神经网络模型中，输入层、隐藏层和输出层的节点数可以不同。例如，一个具有 20 个输入节点、60 个隐藏节点和 80 个输出节点的神经网络，其结构可以表示为 20-60-80。这种结构通常用于处理复杂的非线性问题。

## 2.1 层次型神经网络概要

神经网络模型中，输入层、隐藏层和输出层的节点数可以不同。例如，一个具有 20 个输入节点、60 个隐藏节点和 80 个输出节点的神经网络，其结构可以表示为 20-60-80。这种结构通常用于处理复杂的非线性问题。

神经网络模型中，输入层、隐藏层和输出层的节点数可以不同。例如，一个具有 20 个输入节点、60 个隐藏节点和 80 个输出节点的神经网络，其结构可以表示为 20-60-80。这种结构通常用于处理复杂的非线性问题。

神经网络模型中，输入层、隐藏层和输出层的节点数可以不同。例如，一个具有 20 个输入节点、60 个隐藏节点和 80 个输出节点的神经网络，其结构可以表示为 20-60-80。这种结构通常用于处理复杂的非线性问题。

## 2.2 反向传播

神经网络模型中，输入层、隐藏层和输出层的节点数可以不同。例如，一个具有 20 个输入节点、60 个隐藏节点和 80 个输出节点的神经网络，其结构可以表示为 20-60-80。这种结构通常用于处理复杂的非线性问题。







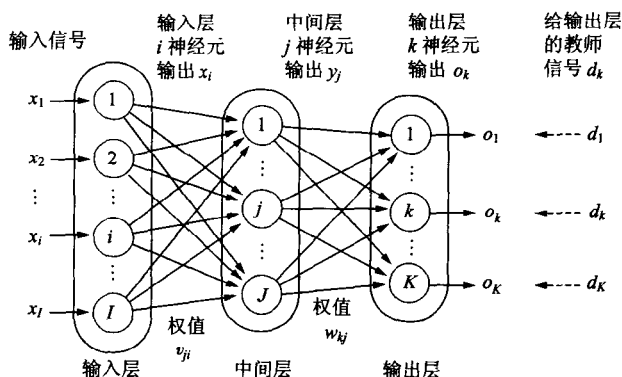


图 2.3 神经网络结构示意图

神经网络 BP 算法

神经网络 BP 算法的基本思想是：通过调整网络中的权值，使得网络的输出与目标输出之间的误差最小。其核心公式如下：

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K (d_k - o_k)^2 \quad (2.11)$$

其中  $o_k$  为网络输出， $d_k$  为目标输出， $k$  为输出层节点编号。网络的输出  $o_k$  由下式计算：

$$o_k = f(\text{net}_k) \quad (2.12)$$

$$\text{net}_k = \sum_{j=1}^J w_{kj} y_j \quad (2.13)$$

其中  $w_{kj}$  为连接权值， $y_j$  为中间层输出。权值的更新公式如下：

$$\begin{aligned} \Delta w_{kj} &= -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{kj}} \\ &= -\eta \frac{\partial E}{\partial o_k} \frac{\partial o_k}{\partial \text{net}_k} \frac{\partial \text{net}_k}{\partial w_{kj}} \\ &= -\eta [-(d_k - o_k)] f'(\text{net}_k) y_j \\ &= \eta \delta_k y_j \end{aligned} \quad (2.14)$$

其中  $\eta$  为学习率， $\delta_k$  为输出层节点的误差信号， $k$  为输出层节点编号。





### 1. 网络初始化

权值的初始值用小随机数设定

### 2. 输入向量的输入(向前)

首先,将输入向量输入给输入层;输入向量向输出层传播;各神经元,求来自前层神经元的附加权值和,由双弯函数决定输出值:

$$(\text{输出值}) = f(\text{输入和}) \quad (1)$$

### 3. 向输出层输入教师信号

将与输入向量对应的教师向量提供给输出层。

### 4. 误差逆传播的权值学习

根据

$$(\text{新权值}) = (\text{旧权值}) + (\text{常数}) \times \delta \times (\text{神经元输出}) \quad (2)$$

进行权值更新,式中的(神经元输出)是指权值连接的两个神经元中,来自前面的神经元输出。即通过其权值的值。 $\delta$ 按以下求出:

连接输出层的权值学习时,

$$\delta = (\text{输出}) \times [1 - (\text{输出})] \times [(\text{教师信号}) - (\text{神经元输出})] \quad (3)$$

S 函数  $f(x)$  的微分值

误差

除此以外的权值学习时,

$$\delta = (\text{输出}) \times [1 - (\text{输出})] \times (\text{来自紧接其后层的 } \delta \text{ 的附加权值和}) \quad (4)$$

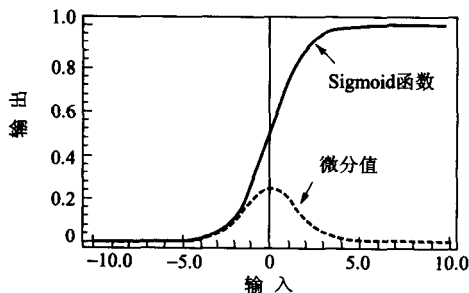
S 函数  $f(x)$  的微分值

误差

### 5. 返回到 2

重复进行 2~4,进行权值的学习。

图 2.4 BP 算法概要



## □ 2.5 Sigmoid □ □ □ □ □ □







Quickprop 算法在  $S(n)$  和  $S(n-1)$  之间进行迭代，直到误差小于  $(1+\epsilon)$ 。

## 2.2.4 神经网络的学习

BP 算法的收敛速度依赖于学习率  $\eta$  和动量因子  $\alpha$  的取值。通常，学习率  $\eta$  的取值范围在 0.1 到 0.9 之间，动量因子  $\alpha$  的取值范围在 0 到 1 之间。学习率  $\eta$  过大，会导致算法收敛速度变慢；学习率  $\eta$  过小，会导致算法收敛速度变快，但可能会陷入局部极小值。动量因子  $\alpha$  过大，会导致算法收敛速度变慢；动量因子  $\alpha$  过小，会导致算法收敛速度变快，但可能会陷入局部极小值。

图 2.6 展示了 BP 算法在学习数据上的误差变化。图中，横轴表示迭代次数，纵轴表示误差。学习数据上的误差（实线）随着迭代次数的增加而逐渐减小，最终趋于一个稳定的值。而未学习数据上的误差（虚线）在初始阶段随着迭代次数的增加而减小，但在达到一个最小值后，误差开始逐渐增大，呈现出过拟合的现象。

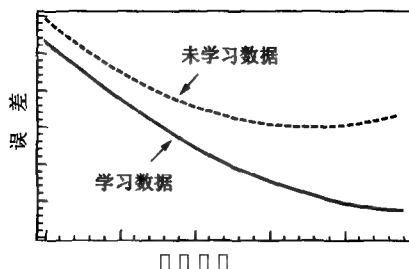


图 2.6 BP 算法在学习数据上的误差变化

神经网络的学习过程可以分为两个阶段：训练阶段和测试阶段。在训练阶段，神经网络通过调整权重和偏置来最小化训练数据上的误差。在测试阶段，神经网络使用训练好的模型来预测新数据的结果，并计算测试数据上的误差。

(1) 神经网络的学习能力 (VC 维) 是指神经网络在训练数据上能够达到的最小误差。VC 维 (Vapnik Chervonenkis) 是衡量神经网络学习能力的指标，它反映了神经网络在训练数据上能够达到的最小误差。VC 维越高，神经网络的学习能力越强。

VC 维越高，神经网络的学习能力越强，但过高的 VC 维也会导致神经网络在测试数据上的误差增大，即过拟合现象。











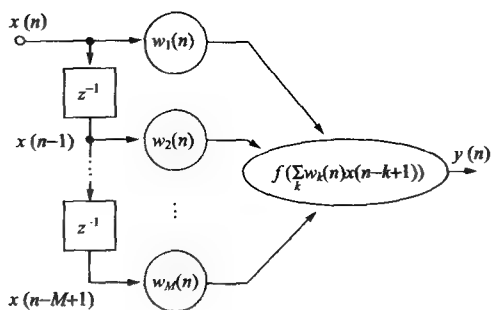


图 2.9 时间延迟神经网络中使用的神经元

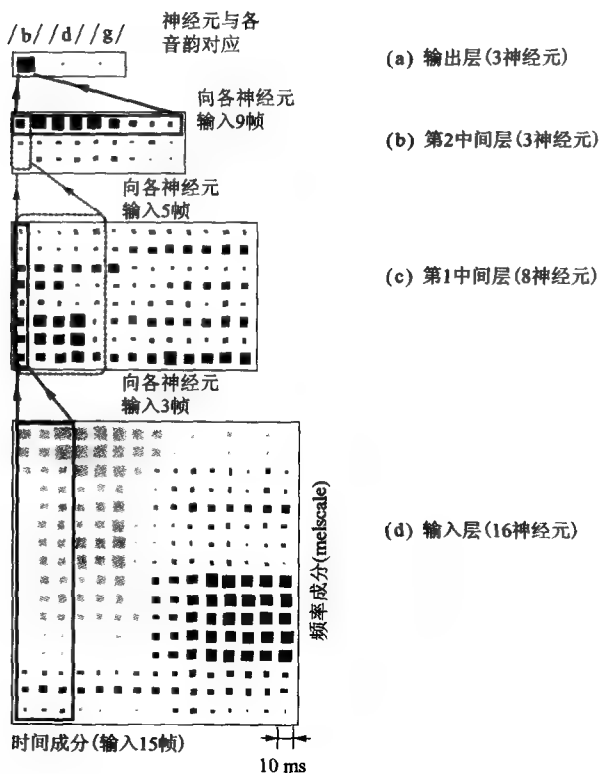


图 2.10 延迟神经网络的结构



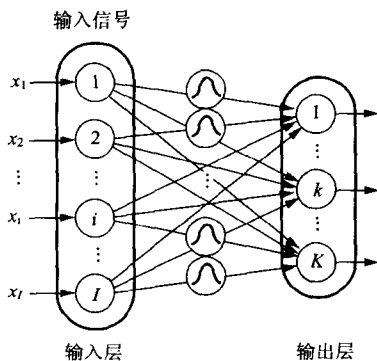


图 2.11 RBF 神经网络结构图

RBF 神经网络具有如下特点：RBF 神经网络具有局部化特性，即只有少数基函数对输入信号有响应，从而使得网络具有较好的泛化能力。RBF 神经网络具有较好的收敛性，即网络在训练过程中能够快速收敛到最优解。RBF 神经网络具有较好的鲁棒性，即网络对输入信号的微小扰动具有较强的抵抗能力。

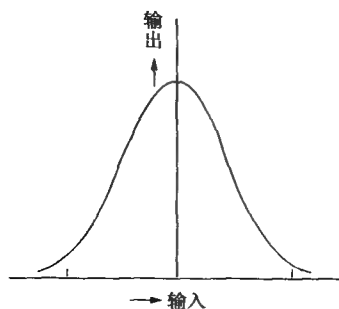


图 2.12 RBF 神经网络中的高斯函数

RBF 神经网络具有如下特点：RBF 神经网络具有局部化特性，即只有少数基函数对输入信号有响应，从而使得网络具有较好的泛化能力。RBF 神经网络具有较好的收敛性，即网络在训练过程中能够快速收敛到最优解。RBF 神经网络具有较好的鲁棒性，即网络对输入信号的微小扰动具有较强的抵抗能力。J. Moody 和 C. J. Darken 在 1989 年提出了 RBF 神经网络。

Moody 和 Darken 在 1989 年提出了 RBF 神经网络。

的方差  $\sigma_j$  的估计值。在 LMS 算法中，我们假设

2. 在 LMS 算法中，我们假设

1. 在 LMS 算法中，我们假设

1. 在 LMS 算法中，我们假设

2. 在 LMS 算法中，我们假设

$$c_{j,*} = \arg \min_j \|x_i - c_j\| \quad (2.37)$$

对于  $i=1, 2, \dots, I$

3. 在 LMS 算法中，我们假设

$$c_j^{\text{new}} = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in \text{cluster}(j)} x \quad (2.38)$$

对于  $j=1, 2, \dots, I$

4. 在 LMS 算法中，我们假设

2. 在 LMS 算法中，我们假设

5. 在 LMS 算法中，我们假设

6. 在 LMS 算法中，我们假设

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in \text{cluster}(j)} (x - c_j)^T (x - c_j) \quad (2.39)$$









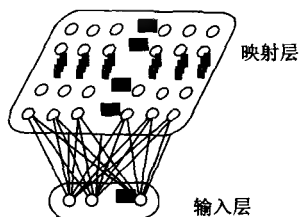


图 2.13 Kohonen 神经网络

输入层有  $n$  个节点，映射层有  $m$  个节点。输入层第  $i$  个节点的输入为  $x_i$ ，映射层第  $j$  个节点的输出为  $y_j$ 。

$$d_j = \sum_{i=1}^n (x_i - w_{ji})^2 \quad (2.44)$$

其中  $w_{ji}$  为映射层第  $j$  个节点与输入层第  $i$  个节点之间的连接权重。

4. 计算每个映射层节点的欧氏距离  $d_j$ ，并找出距离最小的节点，即为获胜神经元 (winner neuron)。

5. 根据获胜神经元的输出，计算其邻域神经元的权重更新。

$$\Delta w_{ji} = \eta h(j, j^*) (x_i - w_{ji}) \quad (2.45)$$

其中  $\eta$  为学习率， $h(j, j^*)$  为邻域函数 (neighborhood function)。

$$h(j, j^*) = \exp\left(-\frac{|j - j^*|^2}{\sigma^2}\right) \quad (2.46)$$

其中  $\sigma$  为邻域半径， $j^*$  为获胜神经元的索引。邻域函数  $h(j, j^*)$  的值在 0 到 1 之间，表示该节点与获胜神经元的相似度。

6. 重复上述步骤，直到网络收敛。

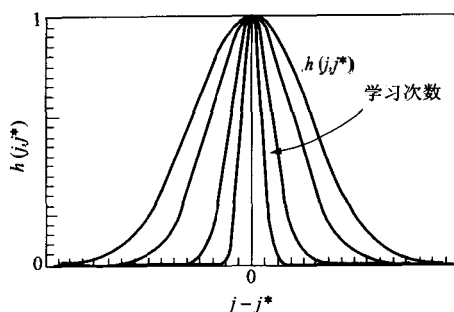


图 2.14 高斯函数的演化

图 2.45) 中所示的函数  $h(j, j^*)$ ,  
 $h(j, j^*)$  的  
 图 2.45

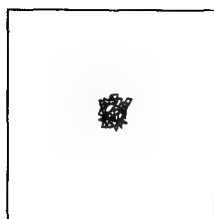
图 2.45

① 图 2.45

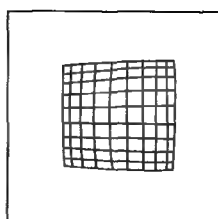
② 图 2.45

③ 图 2.45

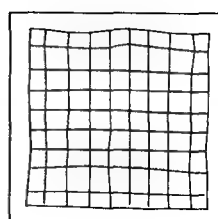
图 2.15 中所示的函数  $h(j, j^*)$



(a) 100 个节点



(b) 1000 个节点



(c) 10000 个节点

图 2.15 Kohonen 映射的演化

2 0.0 1.0

## 2.5 学习向量量化

**2.5.1**    ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

**(LVQ)**<sup>[28,29]</sup>

LVQ □  
□ □ □ □ □

- ① □ □ □ □ □ □ □
- ② □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

### 2.5.2 LVO1 □ □

LVQ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ LVQ □ □ □ □ □  
 □ □ □ □ □ □ □ □ 2 □ □ □ 1 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □  
 □ □ □ □ □ □ □

```

    LVQ1 2
Kohonen
    LVQ1 LVQ1
    1

```

2



□ □ □ □ □ □ (2.49) □ □ □ □ □ □ □

① □ 2 □ □ □ □ □ □ □ □

② □ 2 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

□ □ □ □ □ Kohonen □ □ LVQ2 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

□ LVQ1 □

TDNN □ □ □ □ [30]

# 第3章

# 互联型神经网络 的信号处理

- 3.1 互联型神经网络概要
- 3.2 霍普菲尔德网络
- 3.3 BAM及其改进
- 3.4 玻尔兹曼机和MFT学习

□  
 □  
 □  
 □  
 □  
 □

### 3.1 互联型神经网络概要

□ □ □ □ □ □ □ **Associatron**<sup>[1]</sup> □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □  
 □<sup>[2]</sup> □ □ □ □ □ □ □ □ Hopfield network)<sup>[3]</sup> □ **HASP** (human associa-  
 tive processor)<sup>[4]</sup> □ **BAM** (Bidirectional Associative Memory)<sup>[5]</sup> □  
**MAM** (Multidirectional Associative Memory)<sup>[6]</sup> □ □ □ □

□ (Boltzmann  
 machine)<sup>[7]</sup> □ □ □ □ □

□  
 □  
 □

□  
 □  
 □

□  
 □

① □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

② □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

□ □ 3.1 □  
 □

www.ai.bbt.com □ □ □ □ □ □ □ □



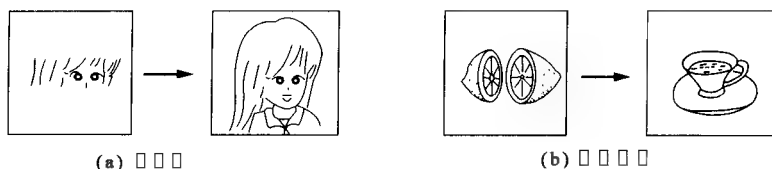


图 3.1 图像重建示例

### 注 3.1

神经网络模型在图像处理中有着广泛的应用，如图像分类、图像识别、图像生成等。本章将介绍一种基于神经网络的图像重建方法，该方法利用 Hopfield 神经网络模型实现图像的自动修复和重建。

## 3.2 霍普菲尔德网络

霍普菲尔德网络 (J. J. Hopfield) 于 1982 年提出，是一种基于能量函数的神经网络模型。该网络由一组神经元组成，每个神经元都与所有其他神经元相连，形成一个全连接网络。网络的输出状态由神经元的激活状态决定，其能量函数用于描述网络的稳定性。

霍普菲尔德网络在图像处理中的应用主要体现在图像重建和模式识别。通过训练神经网络，可以实现对受损图像的自动修复和重建，从而提高图像的质量和可用性。

### 3.2.1 神经网络模型

霍普菲尔德神经网络模型由  $N$  个神经元组成，每个神经元的输出状态为  $a_i^{(i)}$ 。网络的输入状态为  $b_i^{(i)}$ ，其中  $i=1, 2, \dots, P$ 。网络的能量函数  $E$  可以表示为：

$$\begin{aligned}
 W &= \sum_{i=1}^P B_i A_i^T \\
 &= \sum_{i=1}^P \begin{bmatrix} b_1^{(i)} \\ b_2^{(i)} \\ \vdots \\ b_N^{(i)} \end{bmatrix} [a_1^{(i)}, a_2^{(i)}, \dots, a_N^{(i)}]
 \end{aligned}$$

$$= \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^P b_1^{(i)} a_1^{(i)} & \cdots & \sum_{i=1}^P b_1^{(i)} a_N^{(i)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^P b_N^{(i)} a_1^{(i)} & \cdots & \sum_{i=1}^P b_N^{(i)} a_N^{(i)} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A}_i \mathbf{w} (i, j) = i \mathbf{A}_i \mathbf{w} + j \mathbf{A}_j \mathbf{w}$$

$$\mathbf{W}\mathbf{A}_p = \sum_{i \neq p}^P \mathbf{B}_i \mathbf{A}_i^\top \mathbf{A}_p + \mathbf{B}_p \mathbf{A}_p^\top \mathbf{A}_p \quad (3.2)$$

这里假定模式间的相关性很低,则右边第 1 项约为 0。第 2 项,由于向量要素为  $\{-1, 1\}$ , 所以由  $\mathbf{A}_p^T \mathbf{A}_p = N$ , 有

$$\mathbf{WA}_b \approx \mathbf{NB}_b \quad (3.3)$$

可见,能够回想与  $A_p$  对应的  $B_p$ 。

另外，权值矩阵也可以根据下面的 Hebb 学习来求得：

$$\mathbf{W}^{\text{new}} = \mathbf{W}^{\text{old}} + \eta \mathbf{B}_i \mathbf{A}_i^{\text{T}} \quad (3.4)$$

直接用式(3.4)存在这样一个问题,如果是连续学习权值矩阵将无限膨大。因此,有对权值矩阵应用忘却系数 $\lambda(0 < \lambda < 1)$ 。

$$\mathbf{W}^{\text{new}} = \lambda \mathbf{W}^{\text{old}} + \eta \mathbf{B}_t \mathbf{A}_t^T \quad (3.5)$$

来防止权值矩阵发散。此外还有,把  $\bar{A}_i, \bar{B}_i$  分别作为为各自  $A_i, B_i$  的平均向量,有

$$\mathbf{W}^{\text{new}} = \mathbf{W}^{\text{old}} + \eta (\mathbf{B}_i - \bar{\mathbf{B}}_i)(\mathbf{A}_i - \bar{\mathbf{A}}_i)^{\text{T}} \quad (3.6)$$

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ (covariance) □ □ □ □ □ □

### 3.2.2

3.2  $0(w_{\pi}=0)$ .

$N \times N$  矩阵  $A_i = [a_1^{(i)}, a_2^{(i)}, \dots, a_N^{(i)}]^T (i=1, 2, \dots, P)$ 。  
 $N \times P$  矩阵  $A = [A_1, A_2, \dots, A_P]$ 。

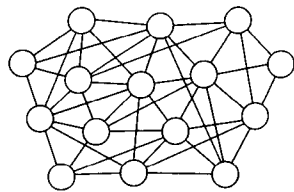


图 3.2 神经网络结构示意图

$$\begin{aligned}
 W &= \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \cdots & w_{1N} \\ w_{21} & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & 0 & w_{N-1,N} \\ w_{N1} & \cdots & w_{N,N-1} & 0 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0 & \sum_{i=1}^P a_1^{(i)} a_2^{(i)} & \cdots & \sum_{i=1}^P a_1^{(i)} a_N^{(i)} \\ \sum_{i=1}^P a_2^{(i)} a_1^{(i)} & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & 0 & \sum_{i=1}^P a_{N-1}^{(i)} a_N^{(i)} \\ \sum_{i=1}^P a_N^{(i)} a_1^{(i)} & \cdots & \sum_{i=1}^P a_N^{(i)} a_{N-1}^{(i)} & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

$w_{ij} = w_{ji} \in \{0, 1\}$  表示连接强度。

$$y_i^{\text{new}} = \begin{cases} 1, & \sum_{j=1}^N w_{ij} y_j^{\text{old}} - \theta_i > 0 \\ y_i^{\text{old}}, & \sum_{j=1}^N w_{ij} y_j^{\text{old}} - \theta_i = 0 \\ 0, & \sum_{j=1}^N w_{ij} y_j^{\text{old}} - \theta_i < 0 \end{cases} \tag{3.8}$$

$y_i (i=1, 2, \dots, N)$  表示第  $i$  个节点的输出。

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} y_i y_j + \sum_{i=1}^N \theta_i y_i \quad (3.9)$$

加

$\tau$  个  $y_i$  个 1 0 个 个  
 个 个 个  $E$  个 个 个 个 (3.9) 个

$$\begin{aligned} \Delta E_i &= E_{y_i=0} - E_{y_i=1} \\ &= \sum_{j=1}^N w_{ij} y_j - \theta_i \end{aligned} \quad (3.10)$$

个 个 个 个 个  $y_i$  个 个 0 个 个 个 个 个

$$\sum_{j=1}^N w_{ij} y_j - \theta_i < 0 \quad (3.11)$$

个 个  $\Delta E < 0$  个 个 个 个 个 个 个  $y_i$  个 个 个 个 个 个 个 个 0 个  
 1 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 3.3 个 个 个 个 个 个 个  
 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个

个  
 0.14N(N 个 个 个 个 个)<sup>[8]</sup> 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个  
 个  
 个 个 个 个 个 个 Hebb 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个  
 个 个 个 个 个 个 个 个

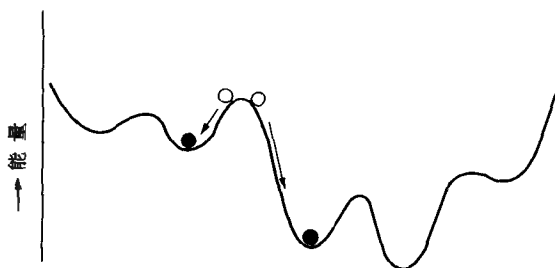


图 3.3 个 个 个 个 个 个 个 个 个 个







(2) 当  $\xi > 0$  时, 说明当前权重  $w$  不满足不等式, 需要进行学习。图 3.7 展示了学习过程。

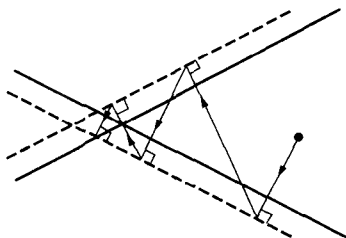


图 3.7 学习过程示意图

应用式(3.16), 可得

$$w^T x^i + b^i - \xi \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (3.21)$$

当  $w^T x^i + b^i - \xi < 0$  时, 说明当前权重  $w$  不满足不等式, 需要进行学习。应用式(3.21)可得

$$w^{new} = w^{old} - \lambda \frac{(w^{old})^T x^i + b^i - \xi}{\|x^i\|^2} x^i \quad (3.22)$$

根据式(3.21), 式(3.22), 不满足不等式而进行学习时, 即当

$$(w^{old})^T x^i + b^i < 0 \quad (3.23)$$

时, 为

$$|(w^{old})^T x^i + b^i - \xi| > |(w^{old})^T x^i + b^i| \quad (3.24)$$

可得  $\xi > 0$ 。图 3.7 展示了学习过程。

(3) 当  $\xi > 0$  时, 说明当前权重  $w$  不满足不等式, 需要进行学习。BAM 和 BMA 算法如下。

BAM 算法: 当  $\xi > 0$  时, 说明当前权重  $w$  不满足不等式, 需要进行学习。BMA 算法: 当  $\xi > 0$  时, 说明当前权重  $w$  不满足不等式, 需要进行学习。

$$\left( \sum_{i=1}^N w_{ji} x_i - \theta_{yj} \right) y_j > 0, \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (3.25)$$







[illegible]

### 3.4 玻尔兹曼机和MFT学习

[illegible]

### **3.4.1**

☐ ☐

☐ ☐

☐ ☐

☐ ☐ ☐ ☐

□  
 □  
 □

### 3.4.2 ☐ ☐ ☐ ☒ ☐ ☐

$$\begin{aligned} & \mathbb{E} \left[ \sum_{\alpha, \beta} \left( \mathbf{E}_{\alpha} \mathbf{E}_{\beta} \right) \right] \leq T \sum_{\alpha, \beta} \left( \mathbf{E}_{\alpha} \mathbf{E}_{\beta} \right) \\ & \leq T \sum_{\alpha, \beta} \left( \mathbf{E}_{\alpha} \mathbf{E}_{\beta} \right) \end{aligned}$$



由式(3.34)和式(3.38),下式成立。  

$$p_{\beta \leftarrow a} \cdot N_a = p_{a \leftarrow \beta} \cdot N_\beta$$

$$p_{\beta \leftarrow a} \cdot N_a = p_{a \leftarrow \beta} \cdot N_\beta \quad (3.38)$$

由式(3.34)和式(3.38),下式成立。

$$\begin{aligned} \frac{N_a}{N_\beta} &= \frac{p_{a \leftarrow \beta}}{p_{\beta \leftarrow a}} = \exp\left(-\frac{E_a - E_\beta}{T}\right) \\ &= \exp\left(-\frac{E_a}{T}\right) \exp\left(\frac{E_\beta}{T}\right) \end{aligned} \quad (3.39)$$

由式(3.39)和式(3.40),可得:

$$\begin{aligned} p_a &= \frac{N_a}{N_a + N_\beta + N_\gamma + \dots} \\ &= \frac{\exp\left(-\frac{E_a}{T}\right)}{Z} \end{aligned} \quad (3.40)$$

其中

$$Z = \sum_{\lambda} \exp\left(-\frac{E_{\lambda}}{T}\right) \quad (3.41)$$

式(3.40)和式(3.41)即为 Boltzmann distribution (Boltzmann distribution) 的表达式。式(3.40)和式(3.41)

### 3.4.3 神经网络模型

神经网络模型由输入层、隐藏层和输出层组成。

神经网络模型由输入层、隐藏层和输出层组成。输入层 (visible neuron) 和隐藏层 (hidden neuron) 的神经元通过权重  $\alpha$  和  $\beta$  连接。输出层的神经元通过权重  $R_\alpha$  连接。

量 (Kullback's information)  $G$  为

$$G = \sum_a R_a \log \frac{R_a}{P_a} \quad (3.42)$$

由上式可以看出, 在  $P_a$  和  $R$  为 0。

Kullback  $G$

$$\Delta w_{ij} = \eta \frac{\partial G}{\partial w_{ij}} \quad (3.43)$$

为

$$\Delta w_{ij} = \frac{\eta}{T} [\overline{\langle y_i y_j \rangle}_{\text{clamped}} - \overline{\langle y_i y_j \rangle}_{\text{free}}] \quad (3.44)$$

式中,  $\overline{\langle y_i y_j \rangle}_{\text{clamped}}$  表示把可视神经元固定 (clamp) 时神经元  $i$  和神经元  $j$  同时为 1 的概率,  $\overline{\langle y_i y_j \rangle}_{\text{free}}$  表示把可视神经元开放 (free) 时神经元  $i$

和神经元  $j$  同时为 1 的概率,  $T$

为

(3.35)~(3.37) 为

为

为

为







② 神经网络中权值的更新规则

$$\Delta w_{ij} = \frac{\eta}{T} [(y_i, y_j)_{\text{clamped}} - (y_i, y_j)_{\text{free}}] \quad (3.47)$$

**注 3.3** MFT 神经网络中权值的更新规则

神经网络中权值的更新规则 [12,14] 神经网络中权值的更新规则 10 20



# 第4章

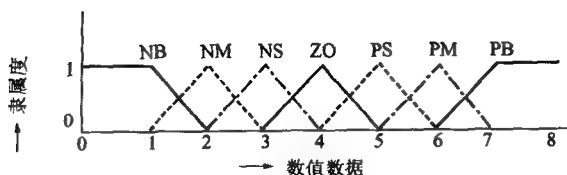
## 模糊性和模糊集合

C  
A  
S  
E  
X  
X  
X  
X  
X  
X  
X  
X  
X  
X  
X  
X  
C  
A  
S  
E

- 4.1 模糊集合的思想
- 4.2 模糊集合与模糊性的表示
- 4.3 模糊集合的运算
- 4.4 概念模糊集合
- 4.5 模糊度和不确定性





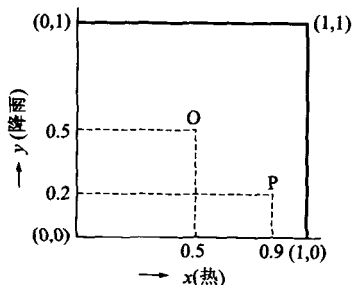


□ 4.2 □ □ □ □ □ □ □ □ □

0000000000、000000000000000000  
 000000000000000000000000000000  
 00000000000000000000000000000000  
 0000000000000000000000000000000000  
 0000000000000000000000000000000000  
 0000000000000000000000000000000000

#### 4.2.2 *n*-cube ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

B. Kosko    $\square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square$    4. 3  $\square \square \square$    *n*-cube  $\square$   
 $\square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square$    "  $\square$  "  $\square$    "  $\square \square \square \square \square \square \square \square$   
 $\square \square \square \square \square \square \square$    *n*  $\square \square \square \square \square \square$    *n*-cube  $\square \square \square x \square \square$    "  $\square$  "  
 $\square \square \square y \square \square$    "  $\square \square$    "  $\square \square \square \square \square \square$    O  $\square \square \square \square \square \square$    P  $\square \square \square \square \square \square$   
 $\square \square \square \square \square \square \square \square$    "  $\square \square \square \square \square \square \square \square$    "  $\square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square$   
 $\square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square$    "  $\square \square$    "  $\square \square \square \square \square \square \square \square$    "  $\square \square \square$



### ☐ 4.3 $n$ -cube ☐☐☐☐☐☐

“ ” 0 1

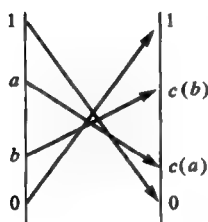
### 4.2.3

$[0,1]$

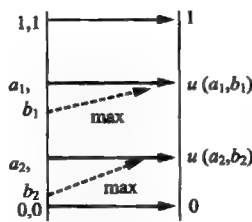
Kosko  $n$   $n$  1  $n$  [3]

## 4.3 模糊集合的运算

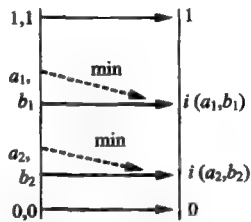
“ ” ( $1/0$ ) 0 1 “ ” 4.4 G. J. Klir



(a) 模糊补集



(b) 模糊并集



(c) 模糊交集

### 4.4

### 4.3.1 模糊补

$$c: [0, 1] \rightarrow [0, 1] \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} & c(\mu_A(x)) \\ & c(\mu_A(x)) \\ & 1: c(0)=1, c(1)=0 \quad (\text{边界条件}) \\ & 2: a < b, a, b \in [0, 1] \implies c(a) \geq c(b) \quad (\text{单调性}) \\ & 1: \text{模糊补的补是原集} \\ & 2: \text{模糊补的补是原集} \\ & \mu_c(x) = 1 - \mu_A(x) \end{aligned} \quad (4.2)$$

### 4.3.2 模糊并

模糊并集的演算用下面的函数  $u$  定义：

$$u: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1] \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} & u(\mu_A(x), \mu_B(x)) \\ & 3 \sim 6 \end{aligned}$$

公理 3:  $u(0, 0) = 0, u(0, 1) = u(1, 0) = u(1, 1) = 1$  (边界条件)

一般化为,  $u(a, 0) = u(0, a) = a, a \in [0, 1]$

公理 4:  $u(a, b) = u(b, a)$  (可交换性)

公理 5:  $a_1 \leq a_2$  并且  $b_1 \leq b_2$ , 如果  $a_1, a_2, b_1, b_2 \in [0, 1]$  则

$u(a_1, b_1) \leq u(a_2, b_2)$  (单调性)

公理 6:  $u(u(a, b), c) = u(a, u(b, c)), a, b, c \in [0, 1]$  (结合性)

$$\begin{aligned} & 3 \sim 6 \\ & T \\ & 5.2 \\ & \mu_U(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \end{aligned} \quad (4.4)$$





CFS 表示标识意思的概念模糊集合 CFS 隶属值(活性度)

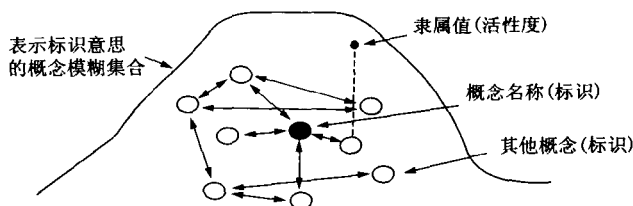


图 4.5 表示标识意思的概念模糊集合

表示标识意思的概念模糊集合 CFS 隶属值(活性度)

表示标识意思的概念模糊集合 CFS 隶属值(活性度)

$$\mathbf{A}(t+1)=\phi(\mathbf{M}^T\mathbf{B}(t)) \quad (4.7)$$

$$\mathbf{B}(t)=\phi(\mathbf{MA}(t)) \quad (4.8)$$

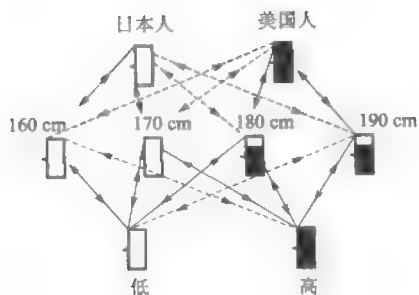
表示标识意思的概念模糊集合 CFS 隶属值(活性度)

表示标识意思的概念模糊集合 CFS 隶属值(活性度)

表示标识意思的概念模糊集合 CFS 隶属值(活性度)



Hebb 4.6



4.7 " " " " " " " CFS

Figure 4.7: A plot of the CFS (Covariance Function) for the "CFS" variable. The x-axis is labeled "CFS" and ranges from 0 to 1.9. The y-axis is labeled "CFS" and ranges from 0 to 4.7. The plot shows a smooth, decreasing curve starting at (0, 4.7) and ending at (1.9, 0). The curve is concave up, indicating a decreasing rate of change.

#### 4.5 模糊度和不确定性

[illegible][illegible]

□ □





# 第5章

## 模糊推理和模糊 信号处理

- 5.1 模糊推理的思想
- 5.2 模糊信号处理中的推理
- 5.3 应用神经网络的模糊推理
- 5.4 模糊信号处理和模糊控制

[illegible]

### 5.1 模糊推理的思想

**Fuzzy Inference**

[illegible][illegible]

## 5.2 模糊信号处理中的推理

[illegible]





more, less, plus, minus, highly, weak

## 5.2.2

7,8  $x_{01}=0.7, x_{02}=0.2$   $x_1, x_2$ .

7; if ( $x_1$  is PM) & ( $x_2$  is ZO) then  $y$  is ZO (5.7)

8; if ( $x_1$  is ZO) & ( $x_2$  is PM) then  $y$  is NM (5.8)

(5.7) (5.8) 7 8  $x_1 = x_{01}, x_2 = x_{02}$   
 $g_{07}(y), g_{08}(y)$

$$g_{07}(y) = (\mu_{PM}(x_{01}) \Delta \mu_{ZO}(x_{02})) \bigcirc \mu_{ZO}(y) \quad (5.9)$$

$$g_{08}(y) = (\mu_{ZO}(x_{01}) \Delta \mu_{PM}(x_{02})) \bigcirc \mu_{NM}(y) \quad (5.10)$$

AND (min).  $\bigcirc$  AND  
 $T$   
 $\cdot$  ( $\bigcirc$ )

$$g_{07}(y) = w_{07} \cdot \mu_{ZO}(y) \quad (5.11)$$

$$g_{08}(y) = w_{08} \cdot \mu_{NM}(y) \quad (5.12)$$

$W_{07}, W_{08}$

$$w_{07} = \mu_{PM}(x_{01}) \Delta \mu_{ZO}(x_{02}) = 0.7 \quad (5.13)$$

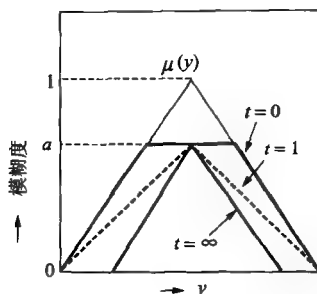
$$w_{08} = \mu_{ZO}(x_{01}) \Delta \mu_{PM}(x_{02}) = 0.2 \quad (5.14)$$

$$g_0(y) = \bigvee_{i=7,8} g_{0i}(y) \quad (5.15)$$

$\nabla$  OR (max)  
 5.1



5.2



## 5.2 T-

(2)  $\forall y \in \mathbb{R}^n, \exists u^* \in \mathbb{R}^m$  such that  $g_0(y) = \min_{u \in \mathbb{R}^m} g_0(y, u)$  and  $y_i (i = 1, 2, \dots, n)$  is a component of  $u^*$ .

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot g_0(y_i)}{\sum_{i=1}^n g_0(y_i)} \quad (5.17)$$

$$u^* = \max\{g_0(y_i)\} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (5.18)$$

□ □ □ □ □

### 5.3 应用神经网络的模糊推理

**AI**

www.aibbt.com □ □ □ □ □ □ □ □





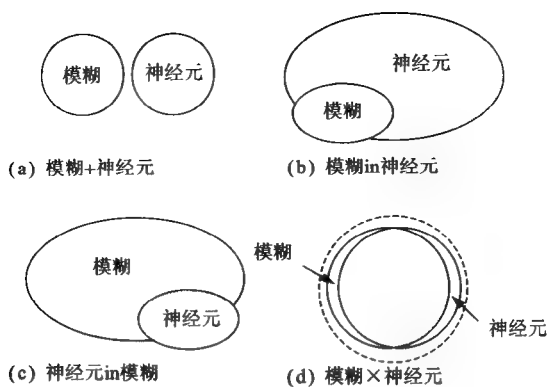
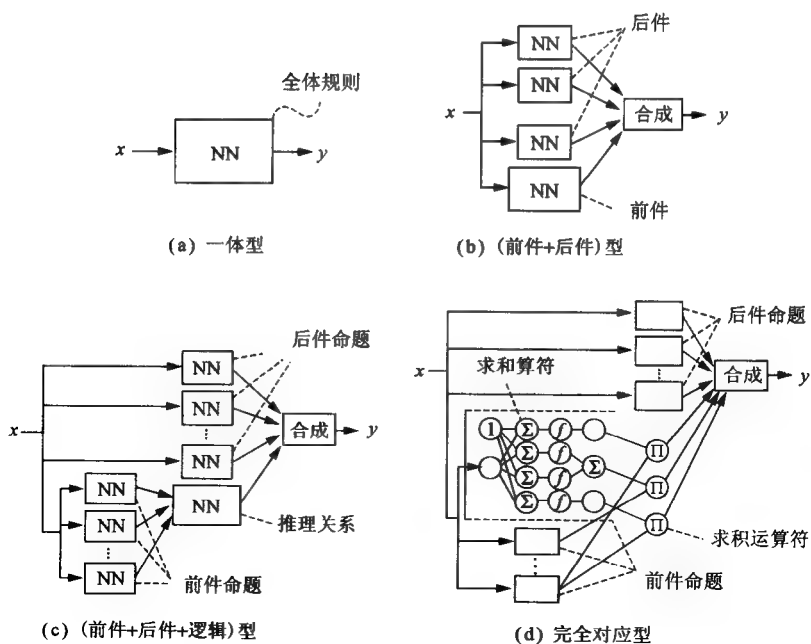


图 5.3 按形式分类



#### □ 5.4 □ □ □ □ □











rule (rule  $R_i$ )  
if rule (rule  $M_{\pi}$ ), rule then  
 $M_{\rho}$  BAM

rule  
 $M_{\pi}$

(5.26)

	身高	身高	身高	体重	体重	体重	腰围	腰围	腰围
	高	一般	矮	重	一般	轻	粗	一般	细
$X_1$	1	0	0	1	0	0	1	0	0
$X_2$	0	1	0	0	1	0	0	1	0
$X_3$	0	0	1	0	0	1	0	0	1

(5.26a)

$$\begin{array}{l}
 R1 \quad R2 \quad R3 \quad A \quad B \quad C \\
 \leftrightarrow R_1[1 \ 0 \ 0] \leftrightarrow Y_1[1 \ 0 \ 0] \\
 \leftrightarrow R_2[0 \ 1 \ 0] \leftrightarrow Y_2[0 \ 1 \ 0] \\
 \leftrightarrow R_3[0 \ 0 \ 1] \leftrightarrow Y_3[0 \ 0 \ 1]
 \end{array}
 \quad (5.26b)$$

5.22) Kosko (5.27) (5.28)  $M_e$ .

$$M_e = a(M+B) \quad (5.27)$$

$$a = \frac{2[\max\{m_{ij}\} - \min\{m_{ij}\}]}{3} \quad (5.28a)$$

$$B = \begin{bmatrix} -c & -c & \cdots & -c \\ -c & -c & \cdots & -c \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -c & -c & \cdots & -c \end{bmatrix} \quad (5.28b)$$



□□□□□□□□□□ 3□□□□□□□□□□□□□□□□ 4  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□

□□□□□□□□□□ “□□□□” □□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□ 7□□□□□□□□□□□□

## 5.4 模糊信号处理和模糊控制

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□

### 5.4.1 □□□□□□□□□□□□□□□□

□□ 5.8□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□ 5.8□□□□□ (5.1)□□□□□□□□□□ (5.3)□□□□□  
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 5.9□□□□□

Figure 1 is a block diagram of a fuzzy model-based control system. It includes a target generator (目标值发生器) providing a reference  $r$ . The error  $e = r - y$  is calculated at a summing junction. The error  $e$  is then fed into the fuzzy model-based controller (模糊模型式控制器). Inside the controller, the error  $e$  is processed by an inference (推理) block, which consists of an 'if' (if 状况评价) rule and a 'then' (then 控制器) rule. The output of the inference block is fed into a synthesis (合成) block, which produces the control signal  $u^*$ . The control signal  $u^*$  is fed into the plant (p), which produces the output  $y$ . The output  $y$  is fed back to the summing junction. Dashed lines indicate the internal fuzzy model structure.

$\square \square$

$\square \rangle \square \square \square \square \square \square$

www.aibbt.com □ □ □ □ □ □ □







### 5.4.2

$\square\square\ 5.13\square\square\square\square\square\square\ \text{LVQ}\ \square\square\ 2.5\square\square)\square\square\square\square\square\square\square\square$





神经网络模型中，Hebb 规则用于描述突触强度的变化。

### 5.4.3 神经网络模型中的 Hebb 规则

在神经网络模型中，Hebb 规则描述了突触强度的变化。假设两个神经元  $i$  和  $j$  的输入分别为  $x_i$  和  $x_j$ ，输出分别为  $y_i$  和  $y_j$ 。Hebb 规则可以表示为：

(1) 如果两个神经元的输入和输出同时为正值（即  $x_i > 0$  且  $y_j > 0$ ），则它们的连接权重  $w_{ij}$  会增加。

具体来说，Hebb 规则可以表示为：

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta x_i y_j$$

其中  $\eta$  是学习率， $w_{ij}$  是连接权重， $x_i$  和  $y_j$  分别是神经元  $i$  和  $j$  的输入和输出。

在神经网络模型中，Hebb 规则可以用于描述突触强度的变化。假设两个神经元  $i$  和  $j$  的输入分别为  $x_i$  和  $x_j$ ，输出分别为  $y_i$  和  $y_j$ 。Hebb 规则可以表示为：

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta x_i y_j$$

其中  $\eta$  是学习率， $w_{ij}$  是连接权重， $x_i$  和  $y_j$  分别是神经元  $i$  和  $j$  的输入和输出。

在神经网络模型中，Hebb 规则可以用于描述突触强度的变化。假设两个神经元  $i$  和  $j$  的输入分别为  $x_i$  和  $x_j$ ，输出分别为  $y_i$  和  $y_j$ 。Hebb 规则可以表示为：

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta x_i y_j$$

其中  $\eta$  是学习率， $w_{ij}$  是连接权重， $x_i$  和  $y_j$  分别是神经元  $i$  和  $j$  的输入和输出。

在神经网络模型中，Hebb 规则可以用于描述突触强度的变化。假设两个神经元  $i$  和  $j$  的输入分别为  $x_i$  和  $x_j$ ，输出分别为  $y_i$  和  $y_j$ 。Hebb 规则可以表示为：

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta x_i y_j$$

其中  $\eta$  是学习率， $w_{ij}$  是连接权重， $x_i$  和  $y_j$  分别是神经元  $i$  和  $j$  的输入和输出。

在神经网络模型中，Hebb 规则可以用于描述突触强度的变化。假设两个神经元  $i$  和  $j$  的输入分别为  $x_i$  和  $x_j$ ，输出分别为  $y_i$  和  $y_j$ 。Hebb 规则可以表示为：

$$w_{ij} = w_{ij} + \eta x_i y_j$$

其中  $\eta$  是学习率， $w_{ij}$  是连接权重， $x_i$  和  $y_j$  分别是神经元  $i$  和  $j$  的输入和输出。

(2) 如果两个神经元的输入和输出同时为负值（即  $x_i < 0$  且  $y_j < 0$ ），则它们的连接权重  $w_{ij}$  也会增加。







$f_1$  的隶属函数  $f_1$  的隶属函数 (即  $f_1$  的隶属函数) 的隶属函数  $P_2$ , 的隶属函数  $P_3$  的隶属函数  $f_2, f_3$ 。

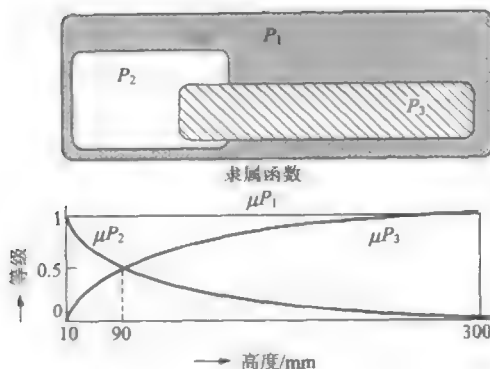


图 5.17 模糊隶属函数的隶属函数

模糊隶属函数的隶属函数

$$\square \quad 1: \text{if } h \text{ is } \mu P_1, \text{ then } u = f_1(y, r) \text{ with } C_{u1} \quad (5.31)$$

$$\square \quad 2: \text{if } h \text{ is } \mu P_2, \text{ then } u = f_2(y, r) \text{ with } C_{u2} \quad (5.32)$$

$$\square \quad 3: \text{if } h \text{ is } \mu P_3, \text{ then } u = f_3(y, r) \text{ with } C_{u3} \quad (5.33)$$

模糊隶属函数的隶属函数  $y$  的隶属函数  $u$  的隶属函数  $\mu P_i$  的隶属函数  $P_i$  的隶属函数  $\mu P_1$  的隶属函数  $\mu P_2$  的隶属函数  $\mu P_3$  的隶属函数  $f_i (i=1, 2, 3)$  的隶属函数  $P_i$  的隶属函数  $r$  的隶属函数  $r=0$ 。  $C_{ui} (i=1, 2, 3)$  的隶属函数

(5.31)~(5.33) 的隶属函数  $C_{ui}$  的隶属函数  $f_i$  的隶属函数  $f_i^*$  的隶属函数  $1$  的隶属函数  $C_{ui}$  的隶属函数  $\gamma$  的隶属函数 if-then 的隶属函数  $C_{ui}$  的隶属函数











# 第6章

# 神经网络和模糊 信号处理应用

CONTENTS

6.1 神经网络的应用

6.2 模糊信号处理的应用

神经网络模型在解决实际问题中，其性能的好坏很大程度上取决于模型的结构和参数的选择。在模型结构方面，通常需要根据问题的复杂程度和数据的特征来选择合适的网络层数和节点数。在参数选择方面，通常需要通过交叉验证等方法来寻找最优的参数组合。此外，模型的训练和测试数据的质量和数量也会对模型的性能产生重要影响。因此，在实际应用中，需要根据具体情况来综合考虑这些因素，以提高模型的准确性和鲁棒性。

## 6.1 神经网络的应用

神经网络在模式识别、图像处理、语音识别、自然语言处理等领域有着广泛的应用。在模式识别中，神经网络可以用于识别手写数字、人脸、指纹等。在图像处理中，神经网络可以用于图像分类、目标检测、图像分割等。在语音识别中，神经网络可以用于语音转文字、语音搜索等。在自然语言处理中，神经网络可以用于机器翻译、情感分析、文本生成等。随着深度学习技术的发展，神经网络的应用范围还在不断扩大。

### 6.1.1 神经网络的基本概念

神经网络是一种模仿人脑神经系统的计算模型。它由输入层、隐藏层和输出层组成。输入层接收外部输入的数据，隐藏层进行复杂的非线性变换，输出层产生最终的输出结果。神经网络通过调整连接权重和偏置来实现对数据的拟合。在训练过程中，通常使用反向传播算法来计算误差并更新参数。

① 神经网络的基本结构包括输入层、隐藏层和输出层。输入层的节点数通常等于输入特征的数量。隐藏层的节点数可以根据经验公式或交叉验证来确定。输出层的节点数通常等于输出类别的数量。

② 神经网络的训练过程通常分为前向传播和反向传播两个阶段。前向传播是指输入数据从输入层经过隐藏层传递到输出层的过程。反向传播是指根据输出层的误差，通过链式法则计算隐藏层和输入层的误差，并据此更新权重和偏置的过程。

③ 神经网络的激活函数用于引入非线性因素，使模型能够拟合复杂的非线性关系。常用的激活函数包括sigmoid函数、tanh函数和ReLU函数等。不同的激活函数适用于不同的场景。

④ 神经网络的超参数包括学习率、批量大小、迭代次数等。这些参数的选择对模型的训练结果有重要影响。通常需要通过实验来寻找最优的参数组合。



```

1 初始化
2 置  $i = 1$ ;
3 若  $N \leq P(i)$  (即  $i = N$ ) 则
     $P(j) (j \neq i)$ 
4 置  $P(i) = P(j)$ 
5 置  $P(j) = 0$ 
6 若  $i < R$  则  $i = i + 1$ 
7 置  $k = 1$ ;
8 置  $n = k + 1$ ;
9 置  $n = N + 1$ 
10 若  $n < M$  则  $n = n + 1$ 
11 Step9;
12 置  $k < M$  则  $k = k + 1$ 
13 置  $n = k + 1$ 
14 置  $n = N + 1$ 
15 置  $n = N + 1$ 

```





□ 6.3 □ □ □ 9 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 7  
 □ □ 6.2 □ □ □ □ 7、8、9 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 11  
 □ □ □ □ □

□  
 □ □ □ □ □ □ □ □

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 6.4 □ □ □ □ □ □ □ □  
 □ 16 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ (□ □ □) □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 4  
 □ □ □ □ □ □ □ □ 11 □ □ □ 12 □ □ □ □ □ □ □ □ 4 □ □ □ □ □  
 □ □ □ 11 □ □ □ 12 □ □ □ □ □ 4 □ □ □ □ □ (□ 14 □)。

表 6.3 最终聚类结果

网络 1	1,12,3,11,14,9
网络 2	2,12,10,3,20,11
网络 3	4,12,14,13,3,11
网络 4	5,12,16,9,4,11
网络 5	6,18,9,12,8,20
网络 6	7,10,17,20,2,3
网络 7	8,9,19,10,3,18
网络 8	11,13,8,6,18,16
网络 9	14,17,15,20
网络 10	15,6,8,9,18,20
网络 11	19,6,1,18,12

表 6.4 各子网络的输出

网络 1	1,12,3,11,14,9
网络 2	2,12,10,3,20,11
网络 3	4,12,14,13,3,11
网络 4	5,12,16,9,4,11
网络 5	6,18,9,12,8,20
网络 6	7,10,17,20,2,3
网络 7	8,9,19,10,3,18
网络 8	11,13,8,6,18,16
网络 9	14,17,15,20
网络 10	15,6,8,9,18,20
网络 11	19,6,1,18,12

□ □ □ □ 3 □ □ □ 8 □ □ □ □ □ □ □ □ 1 □ 5 □ □ □ □ □ □ □ □  
 □ □ □ 15 □ 16 □ □ □ □ □ □ 4 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □  
 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 15 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 16 □ □  
 □ 16。

□ □ □ □ 3 □ □  $N$  □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 6.2 □ □ 6.3  
 □ □ □ □ 6.2 □  
 □ □

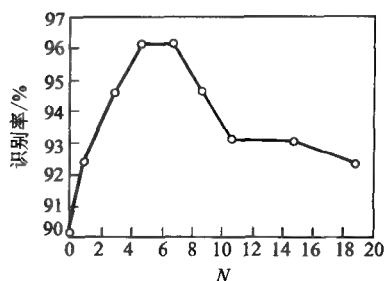
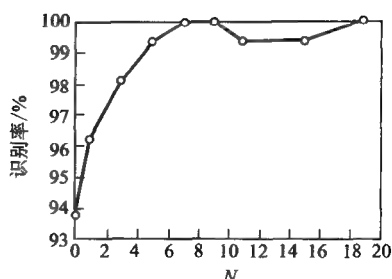


图 6.2 识别率与 N 的关系

图 6.3 识别率与 N 的关系

### 注 6.1

在图 6.2 中，当  $N=0$  时，识别率为 94%，而当  $N=1$  时，识别率迅速提高到 96%，此后随着  $N$  的增加，识别率继续提高，在  $N=8$  时达到峰值 99.5%，之后略有波动，但在  $N=20$  时仍保持在 99.5% 左右。

### 注 6.2

在图 6.3 中，当  $N=0$  时，识别率为 90%，而当  $N=1$  时，识别率迅速提高到 92.5%，此后随着  $N$  的增加，识别率继续提高，在  $N=6$  时达到峰值 96.5%，之后略有波动，但在  $N=20$  时仍保持在 92.5% 左右。

从图 6.2 和图 6.3 可以看出，识别率随着  $N$  的增加而提高，但在达到峰值后，识别率会有所下降。因此，在实际应用中，需要根据具体情况选择合适的  $N$  值，以达到最佳的识别效果。

## 6.1.2 识别率与 N 的关系

在图 6.2 中，当  $N=0$  时，识别率为 94%，而当  $N=1$  时，识别率迅速提高到 96%，此后随着  $N$  的增加，识别率继续提高，在  $N=8$  时达到峰值 99.5%，之后略有波动，但在  $N=20$  时仍保持在 99.5% 左右。

在图 6.3 中，当  $N=0$  时，识别率为 90%，而当  $N=1$  时，识别率迅速提高到 92.5%，此后随着  $N$  的增加，识别率继续提高，在  $N=6$  时达到峰值 96.5%，之后略有波动，但在  $N=20$  时仍保持在 92.5% 左右。



①~③ 手的位置变化成分  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ;

④ 手的运动速度 (绝对值)  $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$ ;

⑤

10 167ms  $(1/60 \times 10)$  50。

(10) 1

(2) Glove-Talk 66 6 -s -ed -ing -er, -ly 203

10 16

16,80 66 1。

$$y_i = \frac{\exp(\text{net}_i)}{\sum_{j=1}^{66} \exp(\text{net}_j)} \quad (6.1)$$

$y_i, \text{net}_i$   $i$   $i$

(3)  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  10 30 10 6 1。

(4)

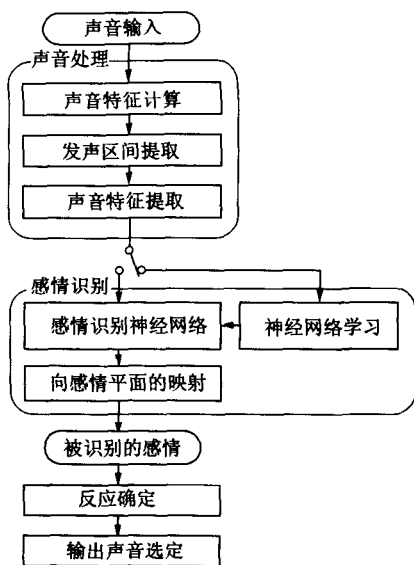












## 6.7

① LPC (Linear Predictive Coding) 是一种常用的语音处理技术。它通过预测当前采样点的值，基于前几个采样点的值来估计。LPC 广泛应用于语音识别、语音合成和语音增强等领域。

② 在 LPC 模型中，通常使用 10 个参数来描述语音信号的特征。

③ 这些参数通常被称为 LPC 系数，它们决定了滤波器的特性。在数字信号处理中，LPC 系数可以通过多种方法估计，如自相关法和协方差法等。

④ 在 LPC 模型中，通常使用 6.5 个参数来描述语音信号的特征。这些参数通常被称为 LPC 系数，它们决定了滤波器的特性。在数字信号处理中，LPC 系数可以通过多种方法估计，如自相关法和协方差法等。



(2) 模糊推理的推理过程如下所示：

模糊推理的推理过程如下所示：

模糊推理的推理过程如下所示：

MUSE 推理过程 [10]

## 6.2 模糊信号处理的应用

模糊信号处理的应用如下所示：

6.6 模糊推理

模糊推理的推理过程如下所示：

表 6.6 模糊推理的推理过程

对象	应用举例	输入信号	输出信号	方法概要	本书相关联的基础项目
状况变化模型	模糊控制 (5.4 节说明)	状态变量值	对应状况变化的模型和模型的操作量	使用 if 状况, then 操作模型形式的模糊规则	<ul style="list-style-type: none"> <li>应用第 5 章的模糊推理</li> <li>学习等的对应中,应用第 5 章的模糊神经网络</li> </ul>



## 6.2.1 震害调查

震害调查是地震工程的重要基础工作，也是工程地震学的重要组成部分。震害调查的主要内容包括：震害宏观调查、震害微观调查、震害工程调查等。震害宏观调查主要是通过现场调查，了解地震对建筑物、工程设施、地质环境等的破坏情况。震害微观调查主要是通过现场调查，了解地震对建筑物、工程设施、地质环境等的破坏情况。震害工程调查主要是通过现场调查，了解地震对建筑物、工程设施、地质环境等的破坏情况。

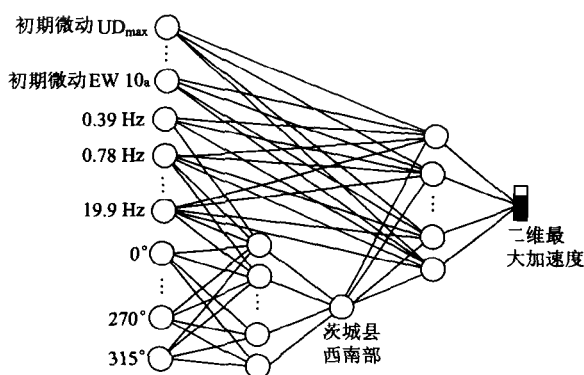


图 6.9 震害调查网络图

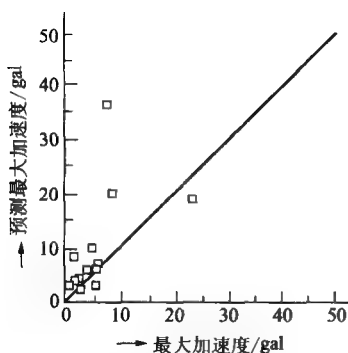
震害调查是地震工程的重要基础工作，也是工程地震学的重要组成部分。震害调查的主要内容包括：震害宏观调查、震害微观调查、震害工程调查等。震害宏观调查主要是通过现场调查，了解地震对建筑物、工程设施、地质环境等的破坏情况。震害微观调查主要是通过现场调查，了解地震对建筑物、工程设施、地质环境等的破坏情况。震害工程调查主要是通过现场调查，了解地震对建筑物、工程设施、地质环境等的破坏情况。

震害调查的主要内容包括：震害宏观调查、震害微观调查、震害工程调查等。震害宏观调查主要是通过现场调查，了解地震对建筑物、工程设施、地质环境等的破坏情况。震害微观调查主要是通过现场调查，了解地震对建筑物、工程设施、地质环境等的破坏情况。震害工程调查主要是通过现场调查，了解地震对建筑物、工程设施、地质环境等的破坏情况。

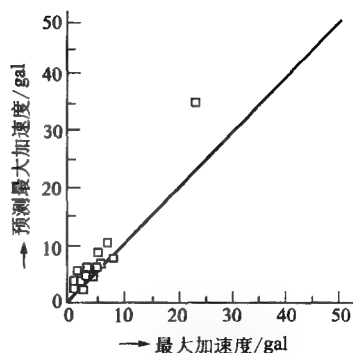
19.9Hz 50 0.39Hz 19.9Hz 50 )  
 0

0  
 ( 0°, ..., 270°, 315° 8 0°  
 45°) S

6.10



(a) 单神经网络的预测信号



(b) 模糊神经网络的预测信号

## 6.10

6.10(a) 6.10  
 (b) 45%

## 6.2.2 模糊控制模型

图 6.11 模糊控制模型

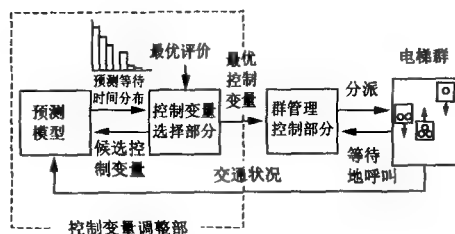


图 6.11 模糊控制模型

模糊控制模型

模糊控制模型

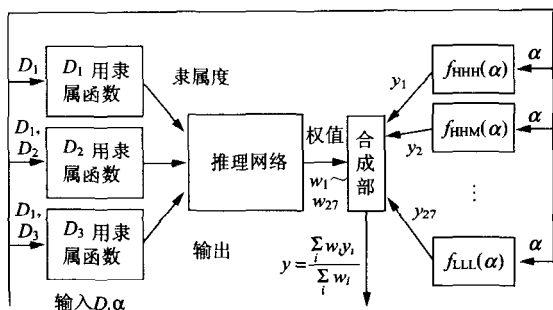
模糊控制模型

模糊控制模型



□ □ □ □ □ □ □ 5.4(c) □ (□ □ + □ □ □ □ □ ) □ □ □ □ □ □ □  
 □  
 □

6.12



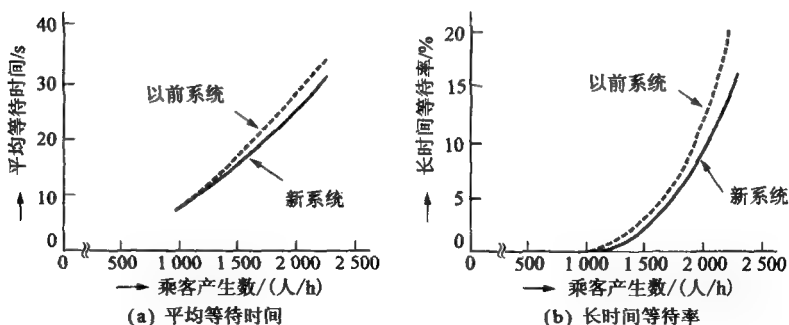
☐ **6.12** ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

6.12  $f_{\text{HHH}}, f_{\text{HHM}}, \dots, f_{\text{LLL}}$  H, M, L  $D_1, D_2, D_3$  high  $\rangle_0$  middle  $\rangle_0$  low  $\langle_0$

□  
□  
□  
□ □ □ 24 □ □ □ □ □ □ □ 15 □ □ □ (B1, 1~3, 22, 30~39 □ ) □ □ □

6.13。

6.13(a) 6.13(b) 60



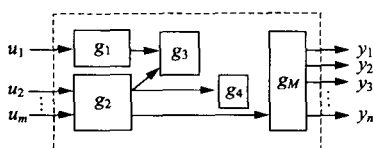
6.13

if then

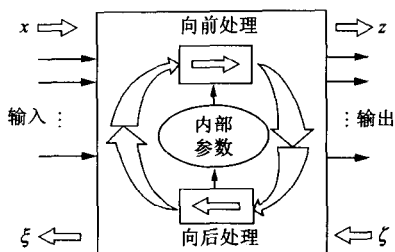
6.14

6.14(a) 6.14(b)

神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包  
 神经网络工具包



(a) 系统结构示例



(b) 子系统

## 6.14 神经网络工具包

### 6.2.3 神经网络工具包

神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包  
 神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包  
 神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包

神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包  
 神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包

神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包  
 神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包  
 神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包  
 神经网络工具包 (Enhanced fuzzy and neuro tool) 神经网络工具包



111

**133**

表 6.8 推理解与实际车的值的比较(之一)

形态要素	根据照片测得的实际车的尺寸	推理解		形态要素	根据照片测得的实际车的尺寸	推理解	
		必然解 [下限, 上限]	可能解 [下限, 上限]			必然解 [下限, 上限]	可能解 [下限, 上限]
①	0.318	[0.303, 0.317]	[0.303, 0.318]	①	0.317	[0.308, 0.316]	[0.306, 0.321]
②	0.282	[0.284, 0.301]	[0.283, 0.303]	②	0.269	[0.269, 0.290]	[0.269, 0.303]
③	0.094	[0.061, 0.101]	[0.063, 0.101]	③	0.127	[0.104, 0.134]	[0.088, 0.137]
④	29.688	[28.200, 30.020]	[27.956, 30.052]	④	31.124	[29.173, 30.836]	[28.523, 31.759]
⑤	24.336	[20.219, 26.496]	[19.395, 26.496]	⑤	27.109	[20.720, 26.589]	[17.234, 27.333]
⑥	0.040	[0.043, 0.071]	[0.041, 0.072]	⑥	0.065	[0.055, 0.080]	[0.049, 0.094]
⑦	0.309	[0.233, 0.309]	[0.223, 0.309]	⑦	0.255	[0.211, 0.241]	[0.188, 0.256]
⑧	6.000	[4.510, 5.784]	[4.389, 5.860]	⑧	6.000	[4.371, 5.851]	[3.680, 6.438]
⑨	0.649	[0.623, 0.644]	[0.620, 0.644]	⑨	0.643	[0.621, 0.644]	[0.606, 0.647]
⑩	1.799	[1.218, 1.753]	[1.178, 1.793]	⑩	1.301	[1.097, 1.636]	[0.828, 1.802]
⑪	8.757	[8.721, 10.517]	[8.534, 10.661]	⑪	11.710	[10.613, 11.743]	[9.960, 12.719]

表 6.8 推理解与实际车的值的比较(之二)

形态要素	根据照片测得的实际车的尺寸	推理解		形态要素	根据照片测得的实际车的尺寸	推理解	
		必然解 [下限, 上限]	可能解 [下限, 上限]			必然解 [下限, 上限]	可能解 [下限, 上限]
①	0.320	[0.313, 0.321]	[0.310, 0.322]	①	0.282	[0.282, 0.298]	[0.281, 0.308]
②	0.275	[0.255, 0.290]	[0.259, 0.294]	②	0.291	[0.289, 0.308]	[0.286, 0.319]
③	0.135	[0.110, 0.135]	[0.106, 0.136]	③	0.071	[0.057, 0.091]	[0.058, 0.116]
④	28.615	[30.041, 33.974]	[29.611, 34.016]	④	24.052	[24.151, 26.875]	[24.154, 28.878]
⑤	33.477	[24.900, 29.040]	[24.694, 29.605]	⑤	18.147	[16.074, 19.788]	[13.033, 23.969]
⑥	0.078	[0.080, 0.093]	[0.075, 0.098]	⑥	0.056	[0.053, 0.078]	[0.045, 0.092]
⑦	0.255	[0.222, 0.310]	[0.213, 0.307]	⑦	0.254	[0.208, 0.241]	[0.179, 0.260]
⑧	5.000	[4.131, 5.615]	[3.908, 5.722]	⑧	2.000	[1.459, 3.499]	[1.280, 4.966]
⑨	0.630	[0.576, 0.603]	[0.576, 0.608]	⑨	0.648	[0.618, 0.645]	[0.602, 0.645]
⑩	1.180	[1.210, 1.868]	[1.157, 1.934]	⑩	0.671	[0.669, 1.110]	[0.441, 1.460]
⑪	10.383	[9.151, 10.912]	[9.028, 11.120]	⑪	7.943	[8.104, 9.589]	[7.198, 10.415]



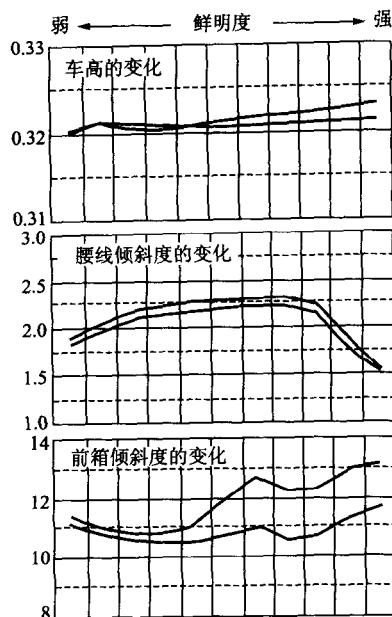


图 6.17 汽车外形变化图

汽车外形变化图，主要研究汽车外形在不同鲜明度下的变化规律。图中展示了车高、腰线倾斜度和前箱倾斜度随鲜明度变化的趋势。

5. 汽车外形变化图 (6.2) 中 A, B 图 (5.19 和 5.20) 中 A, B 图 (6.2) 中 R 图 (5.22) 中 M 图

汽车外形变化图 A 图 B 图 B 图 A 图 5.1 图 AND 图 OR 图



## 6.2.4 试验程序

试验程序按照图 6.18 所示进行。试验车辆在试验前应按照图 6.19 所示进行调整。A 和 B 为试验车辆的调整位置。



图 6.18 试验程序

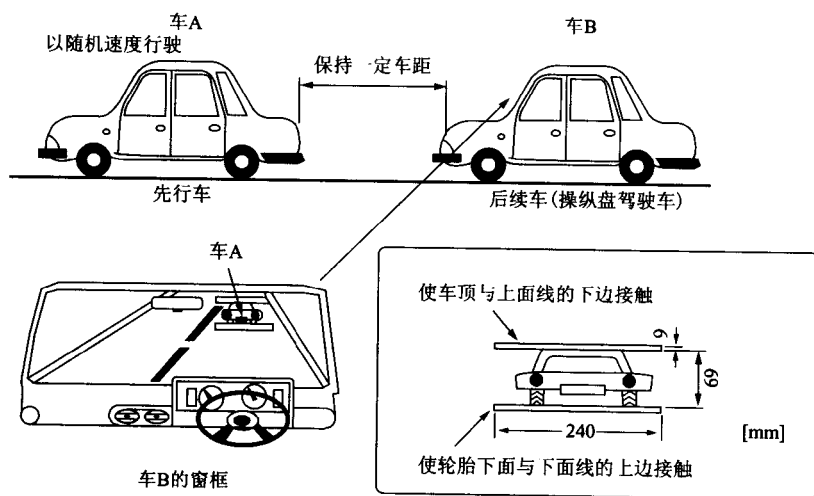


图 6.19 试验车辆的调整

6.20 车间距误差  $B$  加速度操作量  $A$  时间  
 $k$  每个分割区间的 ARMA 模型系数向量  $\theta$  ARMA 模型系数向量集合

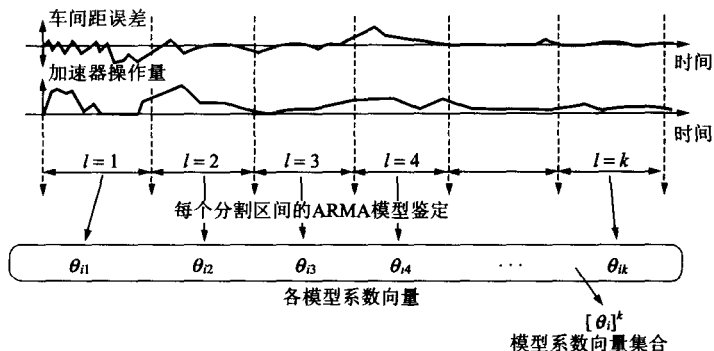


图 6.20 车间距误差与加速度操作量的 ARMA 模型系数向量集合

ARMA 模型系数向量集合  $\theta$  模型系数向量集合  $\alpha_i (i=0, 1, \dots, 10)$  模型系数向量集合  $\beta_j (j=1, 2, \dots, 10)$

$$\theta = [\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{10}, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{10}]^T \quad (6.3)$$

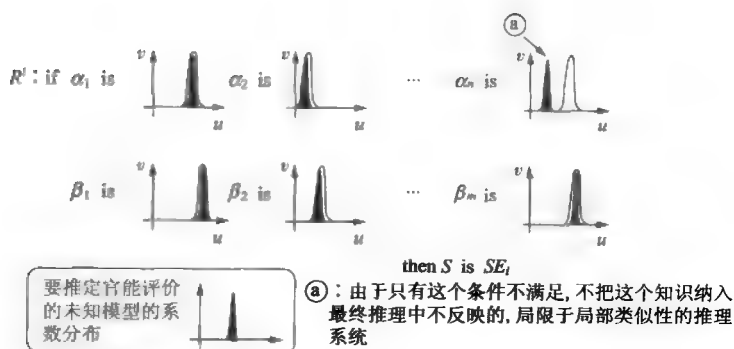
ARMA 模型系数向量集合 4 模型系数向量集合 5 模型系数向量集合 6.10 模型系数向量集合 6.21 模型系数向量集合

1) 模型系数向量集合 ARMA 模型系数向量集合



表 6.10 本系统的官能评价判断预测

后续车 驾驶员者	4 速 固 定 行 驶	3 速 固 定 行 驶	
		实际评价	基于模型 的推定
操纵盘 A (25 岁 男性)	3	5	4.8
操纵盘 B (31 岁 男性)	3	4	4.2
操纵盘 C (30 岁 男性)	3	3	3.1
操纵盘 D (31 岁 男性)	3	5	4.6



## 6.22

5.1

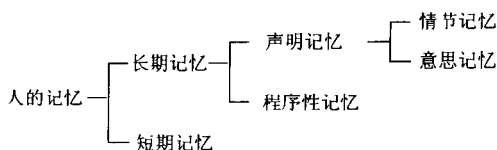
# 第7章

## 人类的并行处理模型 与智能信号处理

(35 X 35 X 35 X 35)

- 7.1 联想存储的智能信号处理
- 7.2 联想存储的模糊联想处理
- 7.3 新型智能信号处理





## **7.1**

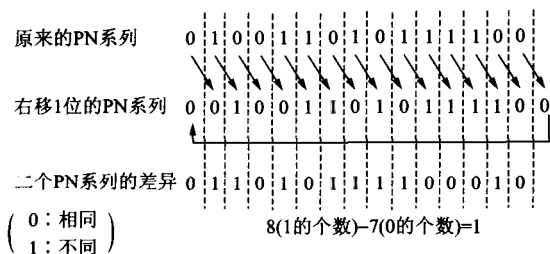
[illegible]

**7.1.2**    □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

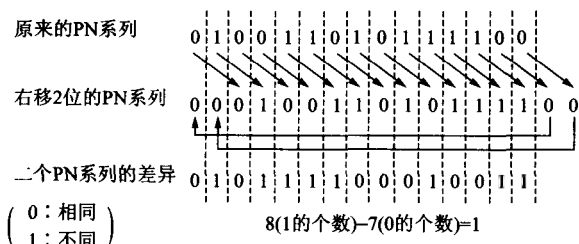
[illegible]

(1) PN 00000000000000000000  
00000000000000000000 100  
000000000 150 PN 000000

010011010111100



(a) 移动1位的情况



(b) 移动2位的情况

## 7.2 PN

7.2(a) 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0

0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1

2 7.2(b) PN

PN

7.3 PN

[4]

“ ” “ ”

7.4 MAM 3 “ ”

“ ” “ ” 2



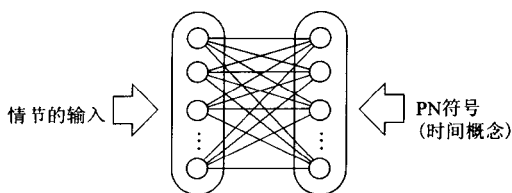
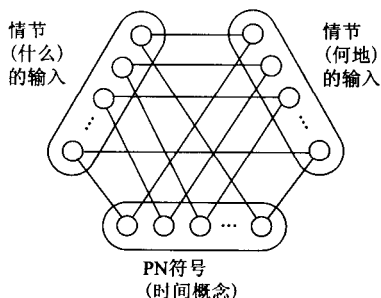


图 7.3 神经网络情节的联想存储



**7.4**

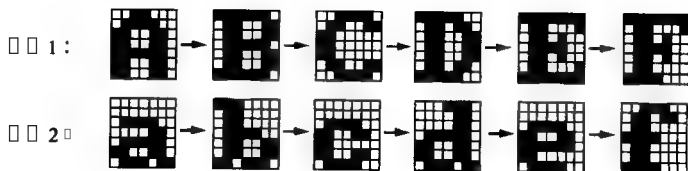
□ □ □ □ □ □ □ □ □

7.3 " " " "

PN

[illegible]

PN



7.5



### 7.1.3 神经网络

神经网络是一种模仿人脑神经网络结构的计算模型。它由输入层、隐藏层和输出层组成。输入层接收外部输入，隐藏层进行非线性变换，输出层产生最终输出。神经网络通过训练来学习输入与输出之间的映射关系。

神经网络的训练通常采用反向传播算法。该算法通过计算输出层与目标值之间的误差，并将其反向传播到隐藏层和输入层，以确定每个节点的权重。通过多次迭代，神经网络可以逐渐逼近最优解。

神经网络在模式识别、图像处理、自然语言处理等领域有着广泛的应用。它能够处理复杂的非线性问题，并具有较强的鲁棒性和泛化能力。

① 神经网络的基本结构包括输入层、隐藏层和输出层。输入层的节点数通常与输入特征的数量一致。隐藏层的节点数可以根据经验公式进行估算。输出层的节点数则取决于需要识别的类别数量。

② 神经网络的训练过程包括前向传播和反向传播两个阶段。前向传播用于计算网络的输出，而反向传播则用于计算误差并更新权重。训练过程中需要监控损失函数的变化，以评估模型的性能。

③ 神经网络的性能受到多种因素的影响，包括网络结构、初始化方法、学习率选择等。在实际应用中，通常需要通过交叉验证来选择合适的网络结构和超参数。此外，正则化技术也可以用于防止模型过拟合。

$$x_i(t+1) = f \left[ \sum_{j=1}^M v_{ij} \sum_{d=0}^D k_{\text{ext}}^d A_j(t-d) + \sum_{j=1}^N w_{ij} \sum_{d=0}^N k_{\text{feed}}^d x_j(t-d) - \alpha \sum_{d=0}^D k_{\text{rest}}^d x_i(t-d) - \theta_i \right] \quad (7.1)$$

其中  $x_i(t+1)$  表示第  $i$  个神经元的下一时刻状态， $f[\cdot]$  为激活函数。

$f[\cdot]$  表示激活函数，通常采用 Sigmoid 函数或 Tanh 函数。

$v_{ij}$  表示输入层与隐藏层之间的连接权重， $A_j(t)$  表示输入层的第  $j$  个节点的当前状态。



图 7.8 所示为 5 个输入节点和 5 个输出节点 BAM 网络结构示意图。图中输入节点为  $x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_N$ ，输出节点为  $y_1, y_2, \dots, y_M$ 。图中还标有“关键输入部分”和“连贯部分”。

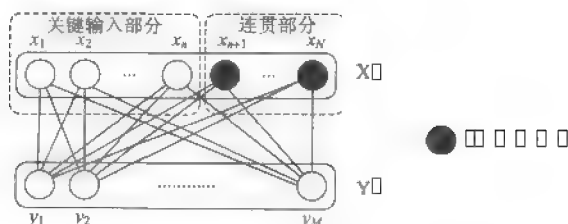


图 7.7 神经网络结构示意图

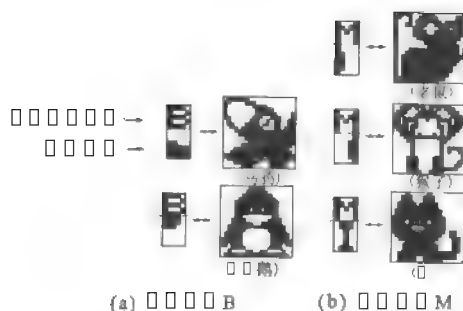


图 7.8 5 个输入节点

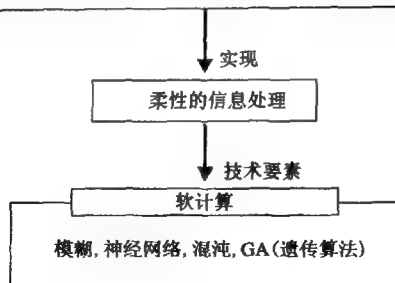
图 BAM 网络结构示意图。图中输入节点为  $x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_N$ ，输出节点为  $y_1, y_2, \dots, y_M$ 。图中还标有“关键输入部分”和“连贯部分”。

图 7.9 所示为 5 个输入节点和 5 个输出节点 BAM 网络结构示意图。图中输入节点为  $x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_N$ ，输出节点为  $y_1, y_2, \dots, y_M$ 。图中还标有“关键输入部分”和“连贯部分”。





- ① 多形态接口功能, 通过图像/声音, 与人/外界进行相互作用的功能
- ② 宏观使用定性指示的知识精练功能, 通过宏观语言指示/动作指示, 进行学习的功能
- ③ 自律构思的功能, 在状况变化的情况下, 根据记忆的知识来构思新知识的功能



## 7.10

①

② ③ 7.11

J. Rasmussen

(a) (b) (c) 3

(a)

(b)

(c)











1. 系统组成及主要设备  
 2. 系统组成及主要设备  
 3. 系统组成及主要设备  
 4. 系统组成及主要设备  
 5. 系统组成及主要设备

6. 系统组成及主要设备  
 7. 系统组成及主要设备  
 8. 系统组成及主要设备

9. 系统组成及主要设备  
 10. 系统组成及主要设备  
 11. 系统组成及主要设备  
 12. 系统组成及主要设备

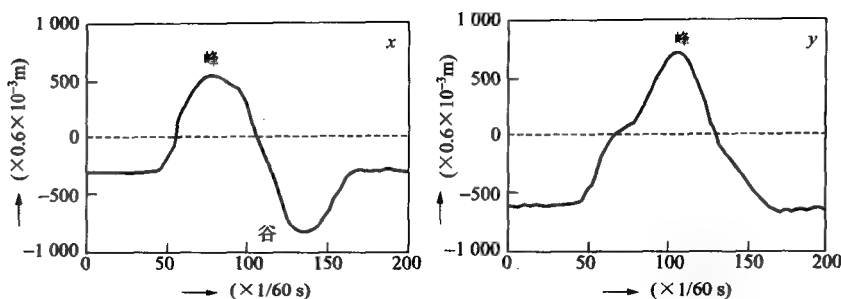
系统组成及主要设备

### (1) 系统组成及主要设备

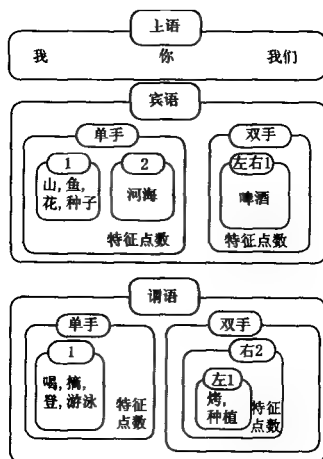
① 系统组成及主要设备 7.13 系统组成及主要设备 (color extractor) 系统组成及主要设备 (color image tracker) 系统组成及主要设备  
 系统组成及主要设备 1/60 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备  
 系统组成及主要设备  $\pm 0.6m \pm 1000$  系统组成及主要设备 系统组成及主要设备  
 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备

② 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备  
 系统组成及主要设备 7.14 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备  
 系统组成及主要设备

系统组成及主要设备 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备  
 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备  
 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备  
 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备  
 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备 系统组成及主要设备

[illegible]

③ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 104

[illegible][illegible]







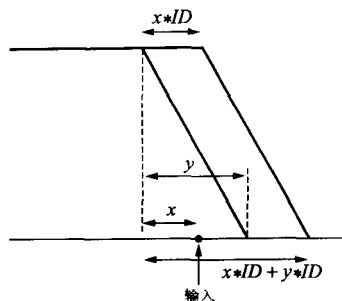


图 7.16 几何变换示意图

图 7.15 显示了 16 个汉字的识别率。从图中可以看出，识别率最高的汉字是“我”，识别率为 85.3%。识别率最低的汉字是“烤”，识别率为 71.9%。平均识别率为 82.4%。

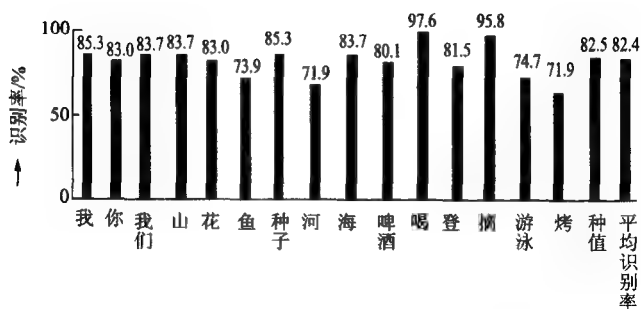
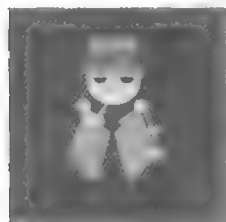


图 7.17 汉字识别率统计图

图 7.18 显示了 16 个汉字的识别率。从图中可以看出，识别率最高的汉字是“我”，识别率为 85.3%。识别率最低的汉字是“烤”，识别率为 71.9%。平均识别率为 82.4%。

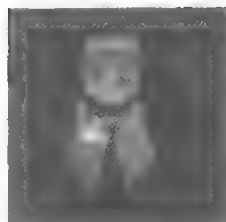
(2) 图 7.18 所示为“图”和“烤”  
 图 7.18 所示为“图”和“烤”  
 图 7.18 所示为“图”和“烤”



(a) 图



(b) 鱼



(c) 烤

图 7.18 图 7.18 图 7.18

(3) 图 7.19 所示为“图”和“烤”  
 图 7.19 所示为“图”和“烤”  
 图 7.19 所示为“图”和“烤”

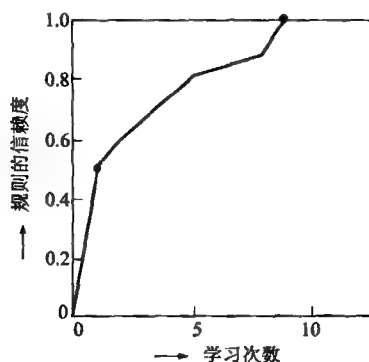
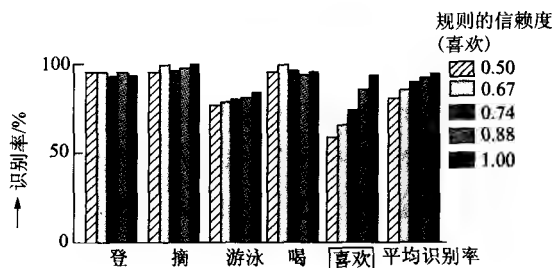


图 7.19 图 7.19 图 7.19

7.20 识别率 50% 识别率 96.0%。

“ ” 58.2% “ ” 9 ) 96.0%。



7.20 识别率 96.0%。

“ ” 识别率 96.0%。

## 7.2.2 识别率 96.0%

“ ” 7.11 IIS 识别率 96.0%。

IIS 识别率 96.0%。

GIL (Gestural Instruction Learning)

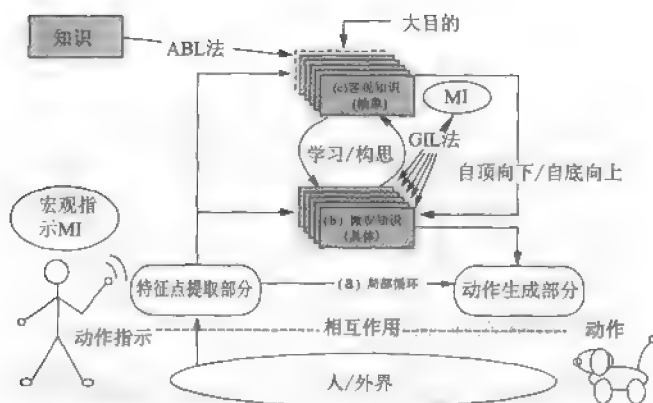


图 7.21 智能代理机机器人







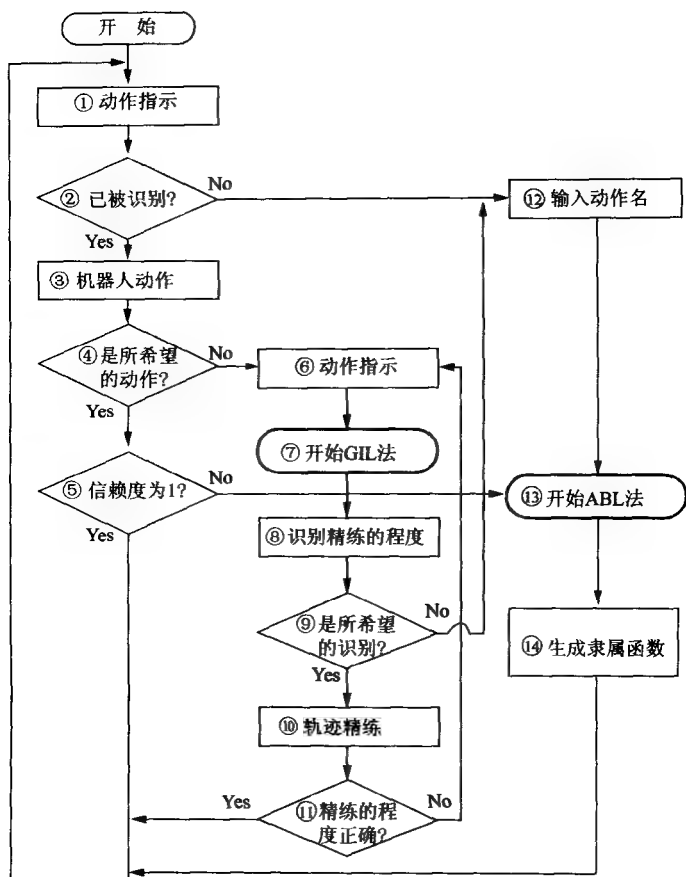


图 7.24 学习过程

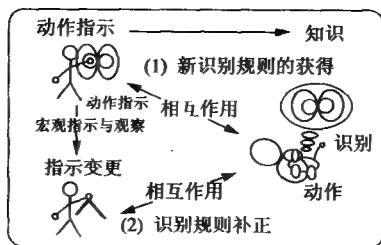


图 7.25 ABL 法



① 学习次数  $N$  增加时，信赖值  $\alpha$  趋近于 1。图 7.26 显示了信赖值  $\alpha$  随学习次数  $N$  变化的曲线。

图 7.26 信赖值  $\alpha$  随学习次数  $N$  变化的曲线

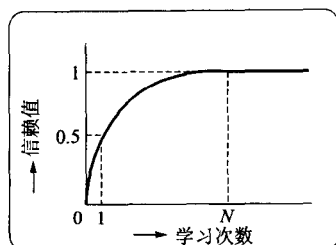


图 7.26 信赖值  $\alpha$  随学习次数  $N$  变化的曲线

在规则 `if rule` 中，`rule` 为规则名。规则名由 1 个字母或数字组成。规则名 (7.3)~(7.5) 的规则名由 1 个字母或数字组成。规则名 (7.3) 的规则名由 1 个字母或数字组成。规则名 (7.4) 的规则名由 1 个字母或数字组成。

规则 (7.5) 的规则名由 1 个字母或数字组成。规则 (7.5) 的规则名由 1 个字母或数字组成。

规则 (7.3) 的规则名由 1 个字母或数字组成。规则 (7.3) 的规则名由 1 个字母或数字组成。

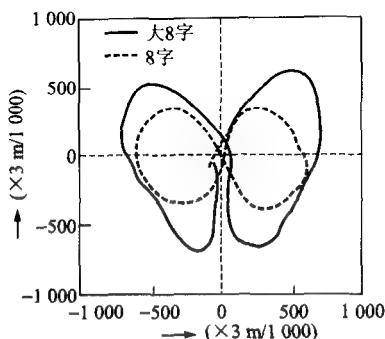
规则 (7.26) 的规则名由 1 个字母或数字组成。规则 (7.26) 的规则名由 1 个字母或数字组成。

② 规则 (7.25) 的规则名由 1 个字母或数字组成。规则 (7.25) 的规则名由 1 个字母或数字组成。规则 (7.25) 的规则名由 1 个字母或数字组成。规则 (7.25) 的规则名由 1 个字母或数字组成。

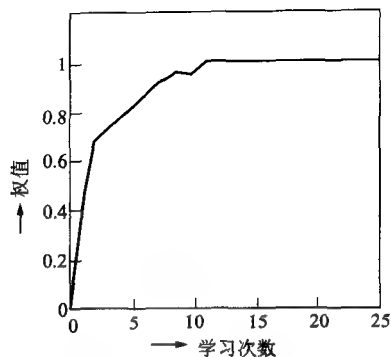


① 7.28

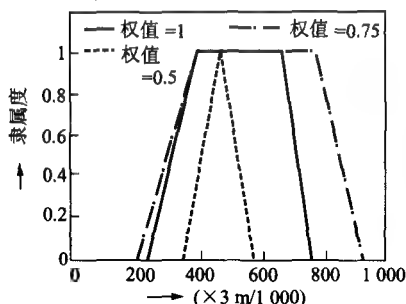
8



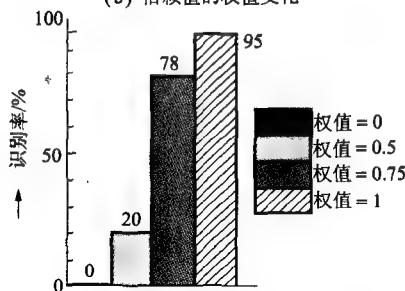
(a) 大8字轨迹



(b) 信赖值的权值变化



(c) 生成的隶属函数



(d) 识别率的变化

7.28 8

7.28(a) 8 7.28(b) 7.28(c) 7.28(d) 95%

② 8 V 8 7.29 8

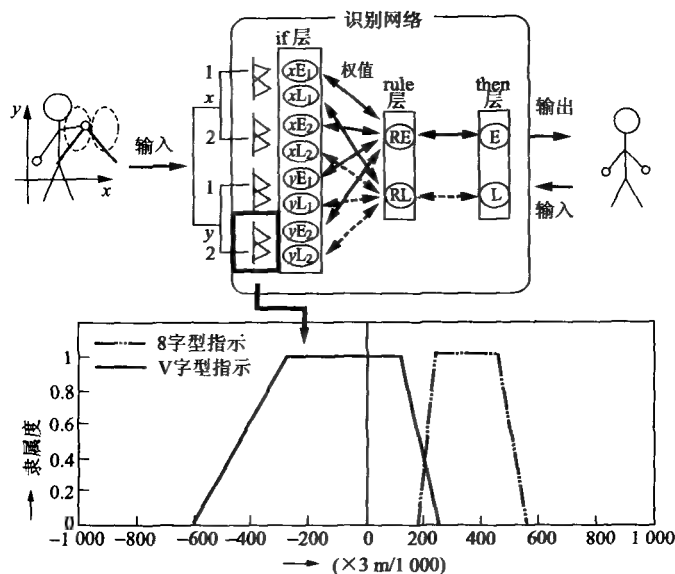


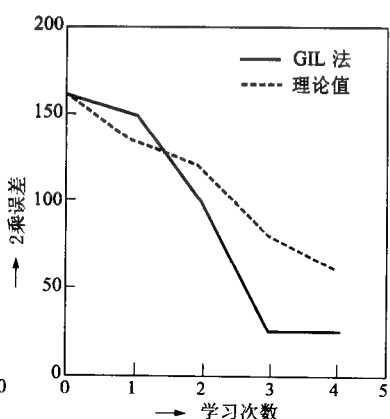
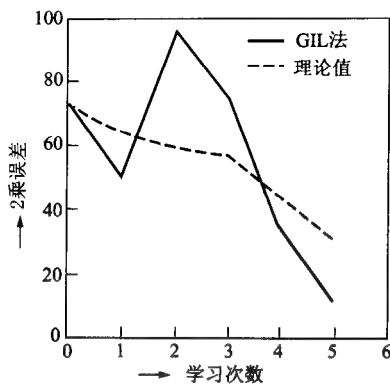
图 7.29 模糊推理网络

(2) GIL 7.30 GIL 8

8 7.30(a)

7.31 7.31 (a)

7.30(b) 7.31(b) GIL GIL



### 7.3 新型智能信号处理

**IIIS** 7.11

[illegible]

□  
 □  
 □  
 □

5.4

[illegible]

**7.11**

□  
 □  
 □ □ □ □ □ □ □ □ □ [14] □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □  
 □ □ □ □ □ □ □ □

[illegible]



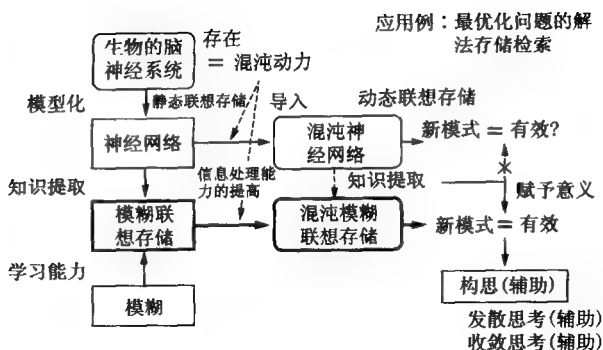


图 7.32 模糊、神经网络、混沌的融合

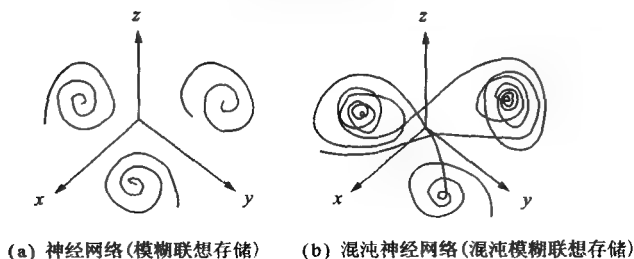


图 7.33

(b) (CSD: Chaotic Steepest Descent Method)

7.34

7.35

(7.6)、(7.7)



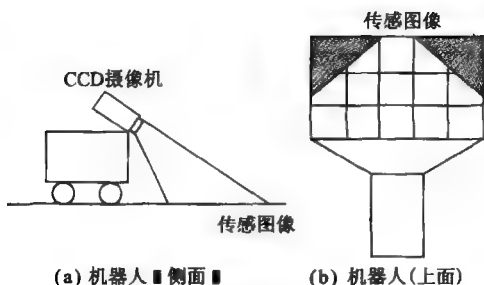






[illegible]

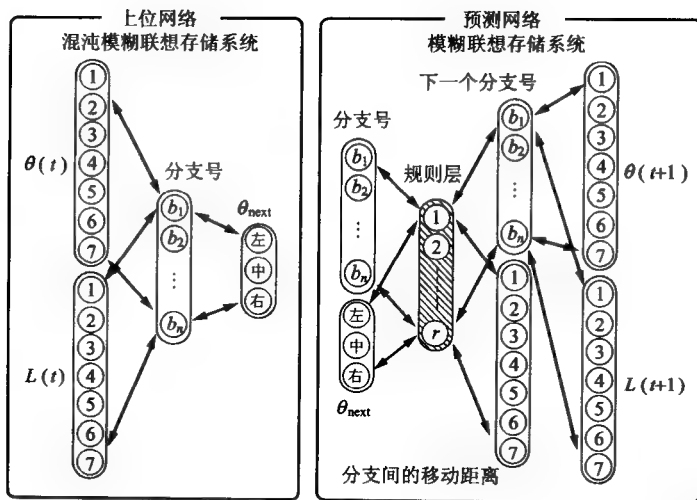
CCD 1/60 7.39



☐ **7.39** ☐ ☐ ☐ ☐

**7.38**

① 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 104

[illegible]

$\theta(t)$ : 偏向目标的角度

$L(t)$ : 与目标的距离

$\theta_{\text{next}}$ : 机器人下一个前进的方向

 $\theta(t)$ 

1: 相当小

2: 小

3: 稍小

4: 中

5: 稍大

6:大

7: 相当大

 $L(t)$ 

1: 相当近

2:近

3: 稍近

4: 中

5: 稍远

6: 远

7: 相当远

### 分支间的移动距离

1: 相当短

2:4

3: 稍短

4: 中

5: 稍长

6: 长

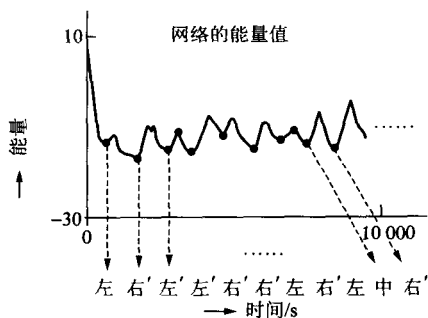
7: 相当长



□ □ □ □ □ □ □ □ □ □

7.42



**7.42** □□□□□□□□ (□□□□)

7.36

□ □

□ □

(1) ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

① □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

② □

③ □ □ □ □    ② □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

[illegible]

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

[illegible]

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

**(6)**    □ □ □ □    **(2)**    □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □    **(3)**    **(5)**    □

⑦ □□□□ ③~⑥ □□□□□□□□□□□□□□□□

111

[illegible]





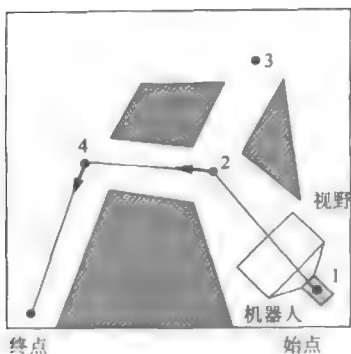


图 7.43

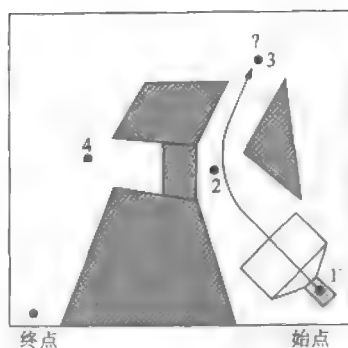


图 7.44

2 7.45 2 4 5 2 7.46 7.47 7.48

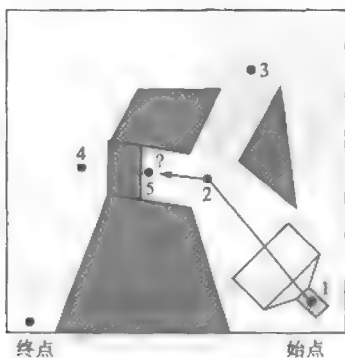


图 7.45

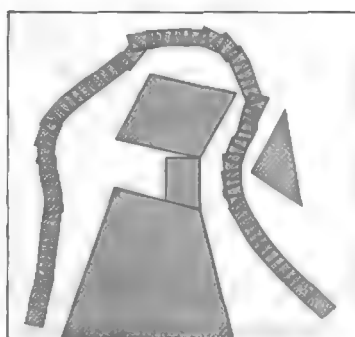
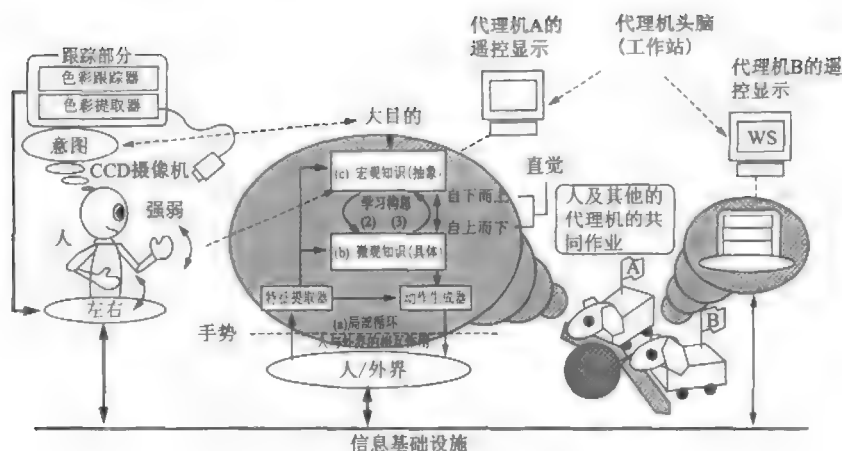


图 7.46



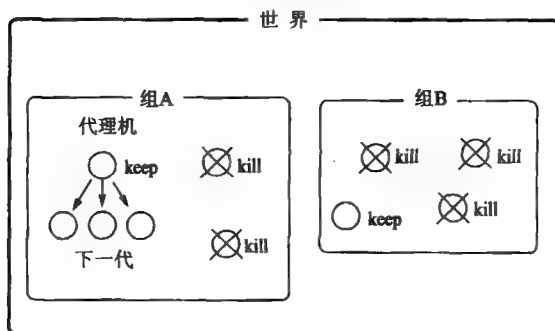




[illegible]

↓

向创发系统的扩展



**□ 7.53** □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □

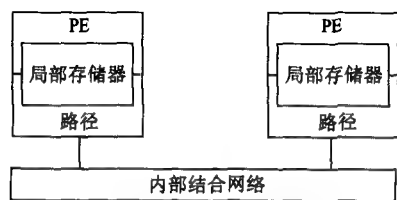
[illegible][illegible]

(1) **A-NET**

A-NET (actors network)

Figure 1 shows the architecture of A-NET. It consists of five layers of nodes. The first layer has 8 nodes, the second has 16 nodes, the third has 32 nodes, the fourth has 64 nodes, and the fifth has 128 nodes. The nodes are connected in a fully connected manner between adjacent layers.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ **A-NET** □ □ □ □ □ □ □ □ □ □  
 □ **A-NET** □ □ □ □ □ □ □ □ 1000 □ □ □ □ **MIMD** □ □ □ □ □ □  
 □ 7.54  
 □ □ □ □ **A-NET** □ □ □ □ □ □ □ □

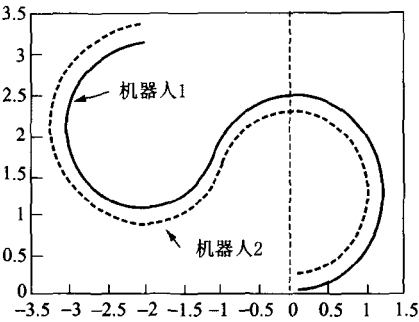


网络结构：超立方体	2D网眼
树(tree)	3D网眼
X-树(tree)	环状

□ **7.54** A-NET □ □ □ □ □ □

[illegible]

6 Allocate A-NET actor A-NET  
 (2) 7.55 A-NET



7.55

7.56 0 then 1 2  
 main 3 if 7.57





# 附录

# 模糊系统与稳定性

- (35)  $\times$  (35)  $\times$  (35)  $\times$  (35)

### A.1 线性系统中有理函数的不可约分解表示

**A.1.1** ☐ ☐ ☐ ☐

$$U \cap \{G \in S \mid G^{-1} \in S\} = \{G \in S \mid G^{-1} \in S\}$$

**A.1.2**    □ □ □ □ □ □ □

$$P_i = N_i D_i^{-1} = \tilde{D}_i^{-1} \tilde{N}_i \quad (\text{a.1})$$

$$\begin{bmatrix} Y_i & X_i \\ -\tilde{N}_i & \tilde{D}_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_i & -\tilde{X}_i \\ N_i & \tilde{Y}_i \end{bmatrix} = I \quad (\text{a.2})$$

www.aibbt.com □ □ □ □ □ □ □





## 4.2 基于等价多重线性系统的模糊系统的公式化

5.10

### A.2.1

if [ , ] , then [ ( [ ] ) ] " if [ ] then [ ] 5.10.

$\mu P_i$  ,  $\mu P_i$  ,

if  $h$   $P_i$   $\mu$  ,  $P_1, P_2, P_3$   $\mu$  ,  $[A, B, C, D]$  ,

$$P_i = [A_i B_i C_i D_i] = \sum_{i=1}^3 \alpha_i [A_i, B_i, C_i, D_i] \quad (a.8)$$

式中,  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1, \alpha_i \geq 0 (i=1, 2, 3)$ ,  $[A_i, B_i, C_i, D_i]$  为参照模型  $P_i$





$S$  为左Bezout环 (a. 11) Bezout 环

$$Y_i, X_i, \tilde{Y}_i, \tilde{X}_i \in S.$$

(a. 5) Youla  $P, C_i$

$$C_i = (Y_i - R_i \tilde{N}_i)^{-1} (X_i + R_i \tilde{D}_i) \quad (\text{a. 12})$$

而且, 根据

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 & X_1 \\ -\tilde{N}_1 & \tilde{D}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_2 \\ N_2 \end{bmatrix} \quad (\text{a. 13})$$

$A, B \in S, P_1, P_2$

$1$  (a. 12)  $C_1$

Youla

$$\begin{aligned} C_1 &= (Y_1 - R_1 \tilde{N}_1)^{-1} (X_1 + R_1 \tilde{D}_1) \\ &= (Y_2 - R_2 \tilde{N}_2)^{-1} (X_2 + R_2 \tilde{D}_2) \end{aligned} \quad (\text{a. 14})$$

的  $R_1, R_2 \in S$  存在。而且这个条件与满足

$$(A + RB) \in U \quad (\text{a. 15})$$

$R \in S, A, B$

(a. 14) (a. 15)

### A. 2. 3

$C_1, C_2$

5. 12  $C_1, C_2$









$G_v$   $k$   
 $P_i, P_j$  (a. 14)  $1, 2$  (a. 14)  $i, j$

$$R_i = \begin{bmatrix} \frac{G_j}{G_i} & 0 \\ 0 & \frac{G_j}{G_i} \end{bmatrix} \in S$$

$$R_j = \begin{bmatrix} \frac{G_i}{G_j} & 0 \\ 0 & \frac{G_i}{G_j} \end{bmatrix} \in S$$

$$X_i = \begin{bmatrix} \frac{h_1 G_j G_i - G_j s^2}{G_i (s+2)(s+3)} & 0 \\ 0 & \frac{h_0 G_j G_i - G_j s}{G_i (s+1)} \end{bmatrix} \in S$$

$$X_j = \begin{bmatrix} \frac{h_1 G_i G_j - G_i s^2}{G_j (s+2)(s+3)} & 0 \\ 0 & \frac{h_0 G_i G_j - G_i s}{G_j (s+1)} \end{bmatrix} \in S$$

$$Y_i = Y_j = 0 \in S$$

$R_i, R_j, X_i, X_j, Y_i, Y_j$  (a. 14)  $(a. 14)$

$$C_i = \begin{bmatrix} h_1 & 0 \\ 0 & h_0 \end{bmatrix} \in S \quad (a. 27)$$

$C_i$   $[h_0, h_1]$   
 $(a. 27)$   $f_1$

## 参考文献

### 第1章 人工神经网络和模糊信号处理概述

- [1] 麻生英樹：“ニューラルネットワーク情報処理”，産業図書 (1988).
- [2] 片方善治：“知能システム工学”，海文堂 (1993).
- [3] 萩原将文：“ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム”，産業図書 (1994).
- [4] 計測自動制御学会 (編)：“ニューロ・ファジィ・AI ハンドブック”，オーム社 (1994).
- [5] S. Haykin：“Introduction to Adaptive Filters”，Macmillan (1984).  
武部 幹 (訳)：“適応フィルタ入門”，現代工学社 (1990).
- [6] 谷萩隆嗣：“ディジタル信号処理の理論3—推定・適応信号処理—”，コロナ社 (1986).
- [7] F. E. Bloom, A. Lazerson and L. Hofstadter：“Brain, Mind, and Behavior”，  
W. H. Freeman and Company (1985).  
久保田競 (監訳)：“脳の探検 (上・下)”，講談社 (1987).
- [8] 小林 繁, 熊倉鴻之助, 黒田洋一郎, 畠中 寛：“絵ときブレインサイエンス入門”，オーム社 (1987).
- [9] L. A. Zadeh：“Fuzzy sets”，Information and Control, 8, pp. 338-353 (1965).
- [10] 寺野寿郎 (監修)：“実用ファジィ制御”，電子情報通信学会 (1991).
- [11] 高木友博, 山口 亨, 菅野道夫：“概念ファジィ集合とその連想記憶による実現”，第7回ファジィシステムシンポジウム, pp. 359-364 (1991).
- [12] L. J. J. Wittgenstein：“Philosophical Investigations”，Basil Blackwell, Oxford (1953).
- [13] E. H. Mamdani and S. Assilian：“An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller”，Int. J. Man-Machine Studies, 7, pp. 1-13 (1973).
- [14] 菅野道夫：“ファジィ制御”，日刊工業新聞社 (1988).
- [15] 廣田 薫：“ファジィ制御とセンシング技術”，第7回センシングフォーラム, pp. 7-10 (1989).
- [16] G. J. Klir and T. A. Folger：“Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information”，Prentice-Hall (1988).
- [17] 山口 亨：“ファジィ連想記憶システム”，日本ファジィ学会誌, 5, 2, pp. 245-

- [18] 山口 亨: “カオスと連想記憶”, 日本ファジィ学会誌, 7, 3, pp. 500-511 (1995. 6).

## 第2章 层次型神经网络的信号处理

- [1] D. E. Rumelhart, J. L. McClelland and the PDP Research Group : “Parallel Distributed Processing” , MIT Press (1986).  
甘利俊一 (監訳): “PDPモデル”, 産業図書 (1989).
- [2] T. J. Sejnowski and C. R. Rosenberg : “Parallel networks that learn to pronounce English text” , Complex Systems, 1, pp. 145-168 (1987).
- [3] R. P. Gorman and T. J. Sejnowski : “Analysis of hidden units in a layered network trained to classify sonar targets” , Neural Networks, 1, 1, pp. 75 -89 (1988).
- [4] B. Widrow et al. : “Adaptive noise cancelling : Principles and applications” , Proc. IEEE, 63, 12, pp. 1692-1716 (Dec. 1975).
- [5] J. Hertz, A. Krogh and R. G. Palmer : “Introduction to the Theory of Neural Computation” , Addison Wesley (1992).
- [6] 相吉英太郎, 吉川 厚: “ニューラルネットワークによる最適化, その疑問と課題—もう1つの接近法—”, 計測と制御, 34, 5, pp. 358-366 (1995. 5).
- [7] C. Peterson and E. Hartman : “Explorations of the mean field theory learning algorithm” , Neural Networks, 2, pp. 475-494 (1989).
- [8] S. Haykin : “Neural Network -A Comprehensive Foundation- , ” Macmillan (1994).
- [9] M. Hagiwara and A. Sato : “Theoretical derivation of momentum term in back-propagation” , IEICE Trans. Information and System, E78-D, 8, pp. 1080-1086 (Aug. 1995).
- [10] H. Sawai, A. Waibel, R. Haffner, Ivl. Miyatake and K. Shikano : “Parallel-ism, hierarchy, scaling in time-delay neural networks for spotting Japanese phonemes /CV-syllables” , Int. Joint Conf. on Neural Networks 89, II, pp. 81-88 (1989).
- [11] S. E. Fahlman : “Fast-learning variations on back-propagation : An empirical study” , 1988 Connectionist Models Summer School, pp. 38-51, Morgan Kaufmann (1989).
- [12] E. B. Baum and D. Haussler : “What size net gives valid generalization ?” , Neural Computation, 1, pp. 151-160 (1989).
- [13] D. R. Hush and B. G. Horne : “Progress in supervised neural networks” , IEEE Signal Processing Magazine, pp. 8-39 (Jan. 1993).
- [14] A. S. Weigend, D. E. Rumelhart and B. A. Huberman : “Generalization by

- weight-elimination applied to currency exchange rate prediction", Int. Joint Conf. on Neural Networks 91, I, pp. 837-841 (1991).
- [15] 私信 (D. E. Rumelhart)
  - [16] M. Hagiwara : "A simple and effective method for removal of hidden units and weights" , Neurocomputing, 6, pp. 207-218 (Mar. 1994).
  - [17] 真島憲仁, 渡邊見子, 吉村 明, 永野 俊 : "中間層素子削減のための評価関数 E-factorとその有効性" , 日本神経回路学会誌, 1, 2, pp. 64-68 (1994).
  - [18] M. I. Jordan : "Serial order : A parallel distributed processing approach" , ICS Report 8604, UC San Diego (Apr. 1986).
  - [19] A. Waibel, T. Hanazawa, G. Hinton, K. Shikano and K. J. Lang : "Phoneme recognition using time-delay neural networks" , IEEE Trans. Account., Speech, Signal Processing, ASSP-37, 3, pp. 328-339 (Mar. 1989).
  - [20] J. Moody and C. J. Darken : "Fast learning in networks of locally-tuned processing units" , Neural Computation, 1, pp. 281-294 (1989).
  - [21] J. Park and I. W. Sandberg : "Universal approximation using radial-basis-function networks" , Neural Computation, 3, pp. 246-257 (1991).
  - [22] M. T. Musavi, W. Ahmed, K. H. Chan, K. B. Faris and D. M. Hummels : "On the training of radial basis function classifiers" , Neural Networks, 5, pp. 595-603 (1992).
  - [23] T. Poggio and F. Girosi : "Networks for approximation and learning" , Proc. IEEE, 78, 9, pp. 1481-1497 (Sept. 1990).
  - [24] S. Lee and R. M. Kil : "A Gaussian potential function network with hierarchically self-organizing learning" , Neural Networks, 4, pp. 207-224 (1991).
  - [25] 榑原 進 : "数理学 ウェーブレット ビギナーズガイド" , 東京電機大学出版局 (1995).
  - [26] 小林邦和, 島岡豊士, 吉田信夫 : "ネットワーク最適化機能をもつウェーブレットニューラルネットワーク" , 電子情報通信学会論文誌, J77-D-II, 10, pp. 2121-2129 (1994. 10).
  - [27] T. Kohonen : "Self-Organization and Associative Memory" , Springer Verlag (1989).
  - [28] T. Kohonen : "The self-organizing map" , Proc. IEEE, 78, 9, pp. 1464-1480 (Sept. 1990).
  - [29] H. Ritter and K. Schulten : "Neural Computation and Self-Organizing Maps" , Addison Wesley (1992).
  - [30] E. McDermott and S. Katagiri : "LVQ-based shift-tolerant phoneme recognition" , IEEE Trans. Signal Processing, 39, 6, pp. 1398-1411 (June 1991).

### 第3章 互联型神经网络的信号处理

- [1] N. Nakano : "Associatron - A model of associative memory" , IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., SMC-2, 3, pp. 380-388, (May/June 1972).
- [2] 福島邦彦 : "時空間パターンの連想記憶" , 電子通信学会論文誌D, 56-D, 7, pp. 401-407 (1973.7).
- [3] J. J. Hopfield : "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities" , Proc. National Academy of Sciences, USA 79, pp. 2554-2558, (1982).
- [4] Y. Hirai : "A model of human associative processor (HASP)" , IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., SMC-13, 5, pp. 851-857 (Sept./Oct. 1983).
- [5] B. Kosko : "Bidirectional associative memories" , IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., SMC-18, 1, pp. 49-60 (Jan./Feb. 1988).
- [6] M. Hagiwara : "Multidirectional associative memory" , Int. Joint Conf. on Neural Networks, I, pp. 3-6 (Jan. 1990).
- [7] D. E. Rumelhart, J. L. McClelland and the PDP Research Group : "Parallel Distributed Processing" , MIT Press (1986).  
甘利俊一(監訳) : "PDPモデル" , 産業図書 (1989).
- [8] D. Amit, H. Gutfreund and H. Sompolinsky : "Information storage in neural networks with low levels of activity" , Physical Review A, 35, pp. 2293-2303 (1987).
- [9] H. Oh and S. C. Kothari : "Adaption of the relaxation method for learning in bidirectional associative memory" , IEEE Trans. Neural Networks, 5, 4, pp. 576-583 (July 1994).
- [10] M. Hattori, M. Hagiwara and M. Nakagawa : "Quick learning for bidirectional associative memory" , IEICE Trans. Information and Systems, E77-D, 4, pp. 385-392 (Apr. 1994).
- [11] Y. Takefuji : "Neural Network Parallel Computing" , Kluwer Academic Publishers (1992).
- [12] C. Peterson and E. Hartman : "Explorations of the mean field theory learning algorithm" , Neural Networks, 2, pp. 475-494 (1989).
- [13] C. Peterson : "Mean field theory neural networks for feature recognition, content addressable memory and optimization" , Connection Science, 3, 1, pp. 3-33 (1991).
- [14] E. Hartman : "A high storage capacity neural network content addressable memory" , Network, 2, pp. 315-334 (1991).



## 第4章 模糊性与模糊集合

- [1] L. A. Zadeh : "Fuzzy sets" , Information and Control, 8, pp. 338-353 (1965).
- [2] E. H. Mamdani : "Applications of Fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant" , Proc. IEE, 121, 12, pp. 1585-1588 (Dec. 1974).
- [3] B. Kosko : "Newral Networks and Fuzzy Systems" , Prentice-Hall (1992).
- [4] G. J. Klir and T. A. Folger : "Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information" , Prentice-Hall (1988).
- [5] G. J. Klir and T. A. Folger, 本多中二 (訳) : "ファジィ情報学" , 日刊工業新聞社 (1993).
- [6] L. J. J. Wittgenstein : "Philosophical Investigations" , Basil Blackwell, Oxford (1953).
- [7] 高木友博, 山口 亨, 菅野道夫 : "概念ファジィ集合とその連想記憶による実現" , 第7回ファジィシステムシンポジウム, pp. 359-362 (1991).
- [8] 菅野道夫 : "あいまい理論 (III)" , 計測と制御, 22, 5, pp. 38-42 (1983.5).

## 第5章 模糊推理与模糊信号处理

- [1] 菅野道夫 : "ファジィ制御" , 日刊工業新聞社 (1988).
- [2] T. Takagi and M. Sugeno : "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control" , IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., SMC-15, 1, pp. 116-132 (Jan./Feb. 1985).
- [3] 山口 亨 : "ファジィ連想記憶システム" , 日本ファジィ学会誌, 5, 2, pp. 245-260 (1993.4).
- [4] H. Takahashi and H. Minami : "Subjective evaluation modeling using fuzzy logic and a neural network" , 3rd IFSA Congress, pp. 520-523 (1989).
- [5] 藤井輝夫, 浦 環 : "未熟なファジィ・コントローラ起動によるニューラルネット・コントローラの自動生成" , 第29回計測自動制御学会学術講演会, pp. 389-390 (1990).
- [6] 森田 温, 今井祥人, 竹垣盛一 : "神経回路型ファジィ知識モデルによる加工ノウハウの学習" , 計測自動制御学会第27回学術講演会, JS33-3, pp. 347-348 (1988).
- [7] 休 勲, 高木英行 : "神経回路網モデルによるファジィ推論の定式化" , 第4回ファジィシステムシンポジウム, pp. 55-60 (1988).
- [8] 林 陽一, 中井正人 : "ニューラルネットワークを用いたファジィプロダクションルールの自動抽出" , 第5回ファジィシステムシンポジウム, pp. 169-176 (1989).
- [9] 山口 亨, 今崎直樹, 春木和仁 : "連想記憶によるファジールールの推論・学習方式" , 電気学会論文誌 C, 110, 3, pp. 207-215 (1990.3).

- [10] 市橋秀友, 渡辺俊彦: “簡略ファジィ推論を用いたファジィモデルによる学習型制御”, 日本ファジィ学会誌, 2, 3, pp. 429-437 (1990.6).
- [11] 堀川慎一, 古橋 武, 大熊 繁, 内川嘉樹: “ニューラルネットワークによる学習型ファジィ制御器”, 計測自動制御学会論文集, 27, 2 pp. 208-215 (1991.2).
- [12] B. Kosko: “Fuzzy cognitive maps”, Int. J. Man-Machine Studies, 24, pp. 65-75 (1990).
- [13] K. Goto, T. Yamaguchi and T. Takagi: “Dynamic model for a plant using associative memory system”, Int. Conf. on Artificial Neural Networks (ICANN-92), pp. 1517-1520 (1992).
- [14] T. Yamakawa and S. Tomoda: “A Fuzzy neuron and its application to pattern recognition”, 3rd IFSA Congress, pp. 30-38 (1989).
- [15] Y. Hayashi, J. Buckley and E. Czogala: “Direct fuzzification of neural networks and fuzzified delta rule”, 2nd Int. Conf. on Fuzzy Logic & Neural Networks IIZUKA' 92, pp. 73-76 (1992).
- [16] M. Hagiwara: “Extended fuzzy cognitive maps”, IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, pp. 795-801 (1992).
- [17] 石淵久生, 岡田英彦, 田中英夫: “ファジィ入出力データを用いたニューラルネットの学習”, 日本ファジィ学会誌, 4, 4, pp. 892-905 (1992.8).
- [18] 高木友博, 山口 亨, 菅野道夫: “概念ファジィ集合とその連想記憶による実現”, 第7回ファジィシステムシンポジウム, pp. 359-364 (1991).
- [19] B. Kosko: “Neural Networks and Fuzzy Systems”, Prentice-Hall (1992).
- [20] T. Yamaguchi, T. Takagi and T. Mita: “Self-organizing control using fuzzy neural networks”, Int. J. Control, 56, 2, (Aug. 1992).
- [21] 山口 亨, 関根 智, D. Montgomery, 遠藤経一: “ファジー連想推論に基づく知的インターフェースとそのコマンドスベル修正器への適用”, 電気学会論文誌 C, 113, 9, pp. 709-718 (1993. 9).
- [22] 北村新三: “ファジィルール制御系の絶対安定条件 円板定理の拡張”, 第5回ファジィシステムシンポジウム, pp. 505-508 (1989).
- [23] 北條達也, 寺野寿郎, 増井重弘: “位相面によるファジィ制御系の安定性解析”, 日本ファジィ学会誌, 4, 6, pp. 1133-1146 (1992. 12).
- [24] 長谷川貴史, 古橋 武, 内川嘉樹: “離散事象表現によるファジィ制御系の安定性解析に関する一提案”, 電気学会産業システム情報化研究会, pp. 19-28 (1995).
- [25] K. Tanaka and M. Sugeno: “Stability analysis and design of fuzzy control systems”, Fuzzy Sets and Systems, 45, 2, pp. 135-156 (1992).
- [26] 山口 亨, 栗山和信, 美多 勉: “ファジィモデルによる飛行ビーグル制御と安定性の検討”, 日本ロボット学会誌, 10, 4, pp. 501-509 (1992.8).

## 第6章 神经网络与模糊信号处理应用

- [1] K. Funahashi : "On the approximate realization of continuous mapping by neural networks" , Neural Networks, 2, pp. 183-192 (1989).
- [2] B. Kosko : "Fuzzy systems as universal approximators" , IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, pp. 1153-1162 (1992).
- [3] 谷萩隆嗣, 高野裕昭 : "カテゴリーを組み合わせたニューラルネットワークによる顔画像認識" , 電子情報通信学会論文誌D-II, J 77-D-II, 11, pp. 2151-2159 (1994. 11).
- [4] 堀田健一, 岩田 彰, 松尾啓志, 鈴木宣夫 : "大規模ニューラルネットワークーCombNET-II-" , 電子情報通信学会論文誌 D-II, J75-D-II, 3, pp. 545-553 (1992. 3).
- [5] M. I. Jordan and R. A. Jacobs : "Hierarchical mixtures of experts and the EM algorithm" , Neural Computation, 6, pp. 181-214 (1994).
- [6] S. S. Fels and G. E. Hinton : "Glove-talk : A neural network interface between a data-glove and a speech synthesizer" , IEEE Trans. Neural Networks, 4, 1, pp. 2-8 (Jan. 1993).
- [7] 落合慶広, 鈴木英人, 篠沢一彦, 藤井雅晴, 曾根原登 : "ニューラルネットワークを用いた気象レーダ画像による降雨・降雪予測" , 電子情報通信学会技術報告, NC95-15, pp. 111-118 (1995.5).
- [8] 落合慶広, 戸田尚宏, 臼井史朗 : "重みの振動を抑制する階層型ニューラルネットワークの学習法-Kick Out法-" , 電気学会論文誌 C, 113-C, 12, pp. 1154-1162 (1993. 12).
- [9] 土佐尚子 : "音声で人間とコミュニケーションできるロボティクスアート:ニューロベビー" , 計測と制御, 34, 4, pp. 311-314 (1995. 4).
- [10] N. Tosa and R. Nakatsu : "Human-like communication character, "MIC" & feeling improvisation character, "MUSE" " , Proc. of Artificial Life V, The Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems, pp. 122-129 (June 1996).
- [11] 寺野寿郎 (監修), 国際ファジィ工学研究所(編) : "ファジィ思考による知的情報処理" , コンピュータ・エージ社 (1995).
- [12] 恒川裕史 : "ニューラルネットワークを用いた地震動の初期微動による主要動予測手法" , 第5回インテリジェント・システム・シンポジウム, pp. 107-112 (1995).
- [13] 久保 進, 中井章二, 今崎直樹 : "ファジィニューラルネット応用エレベーター群管理システム" , 東芝レビュー, 49, 9, pp. 627-630 (1994.9).
- [14] 今崎直樹, 関根 智, 愛須英之, 加納 誠, 牧野恭子, 石塚 晃 : "学習システムの構築法および記述言語" , 第35回学術講演会 SICE' 96, pp. 559-560 (1996).

- [15] 日経コンピュータ編集部：“ファジイな概念を手軽に扱う”，日経コンピュータ, 398, pp. 110-111 (1996.8).
- [16] 張 育銘, 森 典彦：“ニューラルネットで統合するファジイ逆推論を用いた自動車デザイン支援システム”，日本ファジイ学会誌, 5, 5, pp. 1233-1245 (1993. 10).
- [17] 高橋 宏：“自己回帰移動平均モデル係数から評価知識を生成した運転性評価ファジイモデル”，日本ファジイ学会誌, 5, 2, pp. 330-347 (1993. 4).

## 第7章 人类的并行处理模型和智能信号处理

- [1] 安西祐一郎：“認知科学と人工知能”，共立出版 (1987. 11).
- [2] 久田光彦：“運動のパターンジェネレーターとは何か”，伊藤正男 (編)：“運動の中核メカニズム”，医歯薬出版 (1979).
- [3] 横山光雄：“スペクトル拡散通信システム”，科学技術出版社 (1988. 8).
- [4] M. Hattori and M. Hagiwara：“Episodic associative memory”，Neurocomputing, 12, pp. 1-18 (1996).
- [5] 合原一幸 (編著)：“ニューロ・ファジイ・カオス”，オーム社 (1993).
- [6] 合原一幸 (編著)：“ニューラルシステムにおけるカオス”，東京電機大学出版局 (1993).
- [7] P. Davis, 奈良重俊：“カオスと情報処理機能”，合原一幸 (編)“カオス”，サイエンス社 (1990).
- [8] 谷 淳：“カオスの最急降下法を適用したニューラルネットワークにおける学習および記憶想起の動特性について”，電子情報通信学会論文誌A, J74-A, 8, pp. 1208-1215 (1991.8).
- [9] 長名優子, 服部元信, 萩原将文：“カオス双方向連想メモリ”，電気学会論文誌C, 116-C, 7, pp. 741-747 (1996. 7).
- [10] 山口 亨, 吉原道宏, 石川欽彦：“連想記憶による知的ノシバーバルインタフェース”，第5回インテリジェント・システム・シンポジウム論文集, pp. 385-390 (1993).
- [11] J. Rasmussen：“Skills, rules, and knowledge ; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models”，IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., SMC-13, 3, pp. 257-266 (May/June 1983).
- [12] T. Yamaguchi, M. Yoshihara et al.：“Japanese sign language recognition system using information infrastructure”，The Fourth IEEE Int Conf. on Fuzzy Systems and the Second Int. Fuzzy Engineering Symposium, 5, pp. 65-66 (1995).
- [13] 秋田幸治, 小俣寿之, 橋本智己, 山口 亨：“動作指示による階層的学習機能を持つ自律移動ロボット”，第5回インテリジェント・システム・シンポジウム

論文集, pp. 91-96 (1995).

- [14] 佐藤友彦, 牛田博英, 山口 亨, 井村 敦, 高木友彦: “ファジィ連想記憶システムにおけるカオスの記憶探索”, 日本ファジィ学会誌, 6, 4, pp. 765-774 (1994. 8).
- [15] 山口 亨: “カオスと連想記憶”, 日本ファジィ学会誌, 7, 3, pp. 500-511(1995. 6).
- [16] 山口 亨, 吉原道広, 石川欽彦, 小俣寿之: “連想記憶を用いたインタラクティブ手話インタフェースの試作”, 日本ファジィ学会誌, 8, 5, pp. 901-907 (1996. 10).
- [17] 津田一郎: “カオスの脳観”, サイエンス社 (1990).
- [18] 奈良重俊, P. Davis: “カオスによるパターン発生とその適応制御”, システム/制御/情報, 37, 11, pp. 654-660 (1993. 11).
- [19] 國藤 進: “発想支援システムの研究開発動向とその課題”, 人工知能学会誌, 8, 5, pp. 552-559 (1993. 10).
- [20] 高木友博, 山口 亨, 菅野道夫: “概念ファジィ集合とその連想記憶による実現”, 第7回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 359-362 (1991).
- [21] 馬場敬信, 吉永 努: “並列オブジェクト指向トータルアーキテクチャA-NETにおける言語とアーキテクチャの統合”, 電子情報通信学会論文誌D-I, J75-D-I, 8, pp. 563-574 (1992. 8).

## 附 录 模糊系统与稳定性

- [1] 山口 亨, 栗山和信, 美多 勉: “ファジィモデルによる飛行ビーグル制御と安定性の検討”, 日本ロボット学会誌, 10, 4, pp. 501-509 (1992. 8).
- [2] G. Obinata and J. B. Moore: “Characterization of controllers in simultaneous stabilization”, System & Control Letter, 10, 5, pp. 333-340 (1988).
- [3] M. Vidyasagar: “Control System Synthesis”, MIT Press (1985).



## 索引

### 【B】

□ □ □ □ □ 48

### 【C】

□ □ □ □ □ □ 6  
□ □ □ □ □ □ 8

□ □ □ □ 142  
□ □ □ □ □ 142

### 【D】

□ □ □ □ 142

□ □ □ □ □ □ 17

### 【D】

□ □ □ □ 6

□ □ □ □ □ 54

### 【G】

□ □ □ □ □ □ 12  
□ □ □ 6

□ □ □ □ 148

### 【H】

□ □ □ 36  
□ □ □ □ □ □ 8  
□ □ □ □ □ 4

□ □ □ □ □ 147  
□ □ □ □ □ □ □ □ 148  
□ □ □ □ □ □ □ □ 48

### 【J】

□ □ □ □ □ 20

### 【K】

□ □ □ 41

□ □ □ □ □ 61

### 【L】

□ □ 148

□ □ □ □ 48

□ □ □ □ □ 48

□ □ □ □ □ 14  
□ □ □ □ 80  
□ □ □ □ 12  
□ □ □ □ 13

□ □ □ □ 49

□ □ □ □ 54

□ □ □ □ 142  
□ □ □ □ □ □ 143

□ □ □ □ 6

□ □ □ □ 2  
□ □ □ □ 142  
□ □ □ □ □ 42

□ □ □ 70

□ □ □ 49

□ □ □ □ 48  
□ □ □ □ □ □ 40

□ □ □ □ 42

## 【M】

□ □ □ □ 2  
□ □ □ □ 80  
□ □ □ □ □ □ 14

## 【N】

## 【P】

□ □ □ □ □ 59

## 【Q】

□ □ □ □ □ 128

## 【R】

## 【S】

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 48  
□ □ □ □ □ 8

## 【T】

□ □ 59

## 【W】

□ □ □ □ □ 8

## 【X】

□ □ □ □ □ □ □ 50  
□ □ □ □ □ □ 20



## 【Y】

□ □ □ □ □ □ 21  
 □ □ □ □ 142  
 □ □ □ □ □ 61

□ □ □ □ □ □ □ □ 36  
 □ □ □ □ □ 8

## 【Z】

□ □ 16  
 □ □ □ □ □ □ 152  
 □ □ □ □ □ □ 16  
 □ □ □ □ □ □ 14  
 □ □ □ 48  
 □ □ □ □ □ □ □ 4  
 □ □ □ □ □ □ □ 5

□ □ □ □ 41  
 □ □ □ □ □ □ 20  
 □ □ □ □ □ □ □ □ 49  
 □ □ □ □ □ □ 29  
 □ □ □ □ □ □ 21  
 □ □ □ 48

Associatron 48  
 BAM 48  
 BAM □ □ □ □ □ □ □ □ 53  
 HASP 48  
 HMM 36  
 Jordan □ □ 34  
 Kullback □ □ □ □ 62

K □ □ □ 38  
 LMS □ □ 5  
 MAM 48  
 Melscale □ □ 36  
 MFT □ □ □ □ 59  
 PRLAB 53  
 VC 30

## “ ”

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
6. ARMA
7. VLSI
- 8.



# 前言

本书是作者在多年从事人工智能教学和科研工作的基础上，结合自己的教学心得和科研成果编写而成的。本书力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进，力求做到既可作为高等院校人工智能专业及相关专业的教材，也可供从事人工智能工作的工程技术人员参考。

本书共分8章。第1章介绍人工智能的发展概况、研究内容、应用领域及研究方法；第2章介绍知识表示方法；第3章介绍推理方法；第4章介绍专家系统；第5章介绍机器学习；第6章介绍自然语言处理；第7章介绍计算机视觉；第8章介绍机器人学。

本书可作为高等院校人工智能专业及相关专业的教材，也可供从事人工智能工作的工程技术人员参考。

第1章 绪论

1.1 人工智能的发展概况

1.2 人工智能的研究内容

1.3 人工智能的应用领域

1.4 人工智能的研究方法

第2章 知识表示

2.1 知识表示的概念

2.2 知识表示的方法

2.3 知识表示的模型

[illegible]

4

[illegible]

6

7

[illegible]

□ □ □ □ 萩 □ □

## 编著者简历

□ 萩□□ (□ 6□ □

1966年 □□□□□□□□□□□□□□□□

1971年 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

1971年 □□□□□□□□□□□□□□□□

1974年 □□□□□□□□□□□□□□□□

1984年 □□□□□□ (□□□□□□□□□□)

1989□ ~□□ □□□□□□□□□□□□□□□□

萩□□□□□ 1~3□□□ 6□□□ 7□□

1982年 □□□□□□□□□□□□□□□□

1987年 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

1987年 □□□□□□□□□□□□□□□□□□

1990年 □□□□□□□□□□ (□□□□□□□□□□□□)

1995□ ~□□ □□□□□□□□□□

□ □ □ (□ 1□□□ 4~6□□□ 7□□□□□□

1979□ □□□□□□□□□□□□□□□□

1981□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

1981□ ~1993□ (□ □ □□□□ □□

(1989□ ~1992 □ □□□□□□□□□□□□□□□ )

1992□ □□□□□□□□□□□□□□□□

1993□ ~□□ □□□□□□□□□□

